

TECNOLOGIAS DE CORTE EM ENGENHARIA NAVAL

Disciplina de Tecnologia de Estaleiros Navais

Mestrado em Engenharia Naval

2012

1 Corte por arranque de apara

1.1 Objectivo e necessidade das máquinas ferramenta

As máquinas ferramentas têm por objectivo fundamental transformar fisicamente um corpo no sentido geométrico (forma), ou no sentido dimensional (medida).

A transformação física, que tem por finalidade dar a um elemento uma forma diferente da inicial pode ser executada com ou sem arranque de apara.

Em ambos os casos é necessário utilizar ferramentas adequadas a aplicáveis as respectivas máquinas ferramentas.

1.2 Movimentos das máquinas ferramenta

Para podermos obter das máquinas ferramentas peças com formas e dimensões precisas, há necessidade de transmitir aos órgãos de trabalho um conjunto determinado de movimentos coordenados.

Estes movimentos podem ser divididos em: Básicos (de trabalho) e Secundários. Entre os primeiros podemos distinguir o movimento principal, chamado também de corte, e o movimento de avanço. Mediante estes movimentos verifica-se o arranque da apara na peça que se está a trabalhar.

Os movimentos secundários servem para preparar o processo de maquinação, assegurar o trabalho sucessivo de várias superfícies de uma mesma peça ou superfícies idênticas em peças diferentes. São exemplos de movimentos secundários o movimento para a regulação da máquina ferramenta de acordo com as dimensões e configuração das peças, os movimentos de comando durante o seu funcionamento, os movimentos de ligar ou desligar os órgãos de trabalho, etc. Estes movimentos secundários podem ser manuais ou automáticos.

1.2.1 Tipos de movimentos principal e de avanço

O movimento principal nas máquinas ferramentas pode ser dividido em dois tipos: Rotativo ou Rectilíneo (alternativo).

O movimento principal pode ser comunicado tanto à peça como à ferramenta.

Por exemplo, nos tornos o movimento principal é a rotação da peça a trabalhar; nas fresadoras, rectificadoras e engenhos de furar a rotação da ferramenta; nas limadoras, e em certas máquinas de "talhe" de engrenagens, o movimento alternativo da ferramenta; nas plainas mecânicas o movimento alternativo da peça.

O movimento de avanço nas máquinas ferramentas pode ser contínuo ou intermitente (periódico), simples ou composto, pode constar de uma série de movimentos separados ou pode ainda acontecer não existir movimento de avanço.

Por exemplo: nos tornos, fresadoras, engenhos de furar, o movimento de avanço é contínuo, se bem que nas plainas mecânicas possa ser intermitente.

As rectificadoras cilíndricas têm vários movimentos de avanço: a rotação da peça (avanço circular), o deslocamento axial longitudinal da peça ou da ferramenta (avanço longitudinal) e por fim o avanço transversal transmitido à ferramenta.

1.3 Classificação das máquinas ferramentas

1.3.1 Máquinas ferramentas de utilização geral

As máquinas ferramentas podem ser classificadas segundo a sua concepção, finalidade ou inter relacionando os movimentos principais da ferramenta e da peça a maquinar. De acordo com este último princípio podemos estabelecer o seguinte quadro:

Tabela 1 – Máquinas Ferramentas

Designação da máquina ferramenta	Movimento da ferramenta	Movimento da peça a maquinar
<ul style="list-style-type: none"> • TORNOS MECÂNICOS • MANDRILADORAS 	Estacionário	Rotativo
<ul style="list-style-type: none"> • RECTIFICADORAS • FRESADORAS • ENGENHOS DE FURAR 	Rotativo	Estacionário
<ul style="list-style-type: none"> • PLAINAS MECÂNICAS 	Estacionário	Rectilíneo (alternativo)
<ul style="list-style-type: none"> • LIMADORES • SERROTOS MECÂNICOS 	Rectilíneo (alternativo)	Estacionário

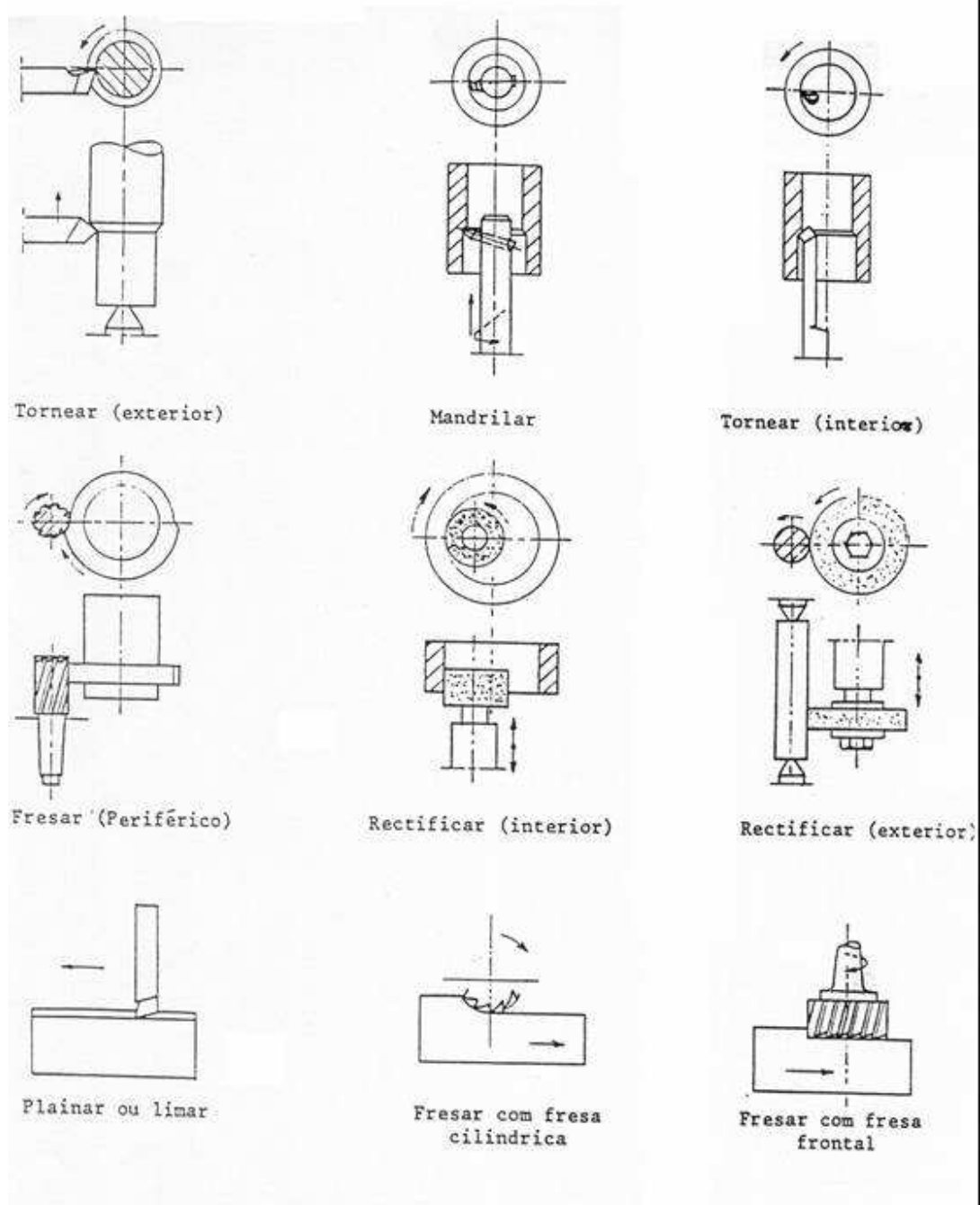


Figura 1 – Operações em máquinas ferramentas

1.3.2 Máquinas ferramentas para produção em série

Incluiremos neste grupo as máquinas ferramentas que executam uma sucessão ordenada de operações em simultâneo.

Segundo a sua concepção podemos classificá-las em:

- Centros de maquinagem

- Trens de produção

1.3.3 Máquinas ferramentas para maquinagem especial

Incluiremos neste grupo as máquinas ferramentas que utilizam o "corte" do metal sem acção de forças mecânicas.

Segundo o processo de "corte" podemos classificá-las:

- Maquinagem por electro-erosão
- Maquinagem por vibração ultra sónica
- Maquinagem mecânica anódica

Podemos também classificar as máquinas ferramentas segundo o seu grau de especialização em:

- a) De aplicação geral: as que efectuam um limitado número de operações em peças de grande diversidade.
- b) Universais: as que efectuam variadas operações ao maquinar diversas peças.
- c) Automáticas: as que depois de postas a ponto, todos os movimentos relacionados com o ciclo de fabricação da peça a trabalhar, assim como a instalação da peça em bruto e a sua extracção quando acabada, se efectuam sem actuação do operador. (Nas máquinas ferramentas semiautomáticas a actuação do operador é necessária para instalar a peça em bruto e extraí-la quando acabada).
- d) De comando numérico: as que realizam a automação de um ciclo de fabricação a partir da informação de comando que recebem sob a forma de dados numéricos.

1.4 Principais máquinas ferramentas utilizadas na indústria metalo-mecânica

1.4.1 Tornos

a) Definição

Tornos são máquinas ferramentas que permitem transformar um sólido fazendo o rodar em torno do seu eixo geométrico, arrancando-lhe perifericamente material, numa peça bem definida tanto na forma como nas dimensões.

b) Principais tipos

- Torno paralelo
- Torno semi-automático de torre ou torno revólver:
 - Torno revólver horizontal
 - Torno revólver frontal

- Torno semi-automático de ferramentas múltiplas
- Torno automático
- Torno universal
- Torno vertical de um ou dois montantes
- Torno copiador

A nomenclatura dos principais órgãos de um torno vertical de um montante é dada na Figura 2.

A nomenclatura dos principais órgãos de um torno paralelo é dada na Figura 3.

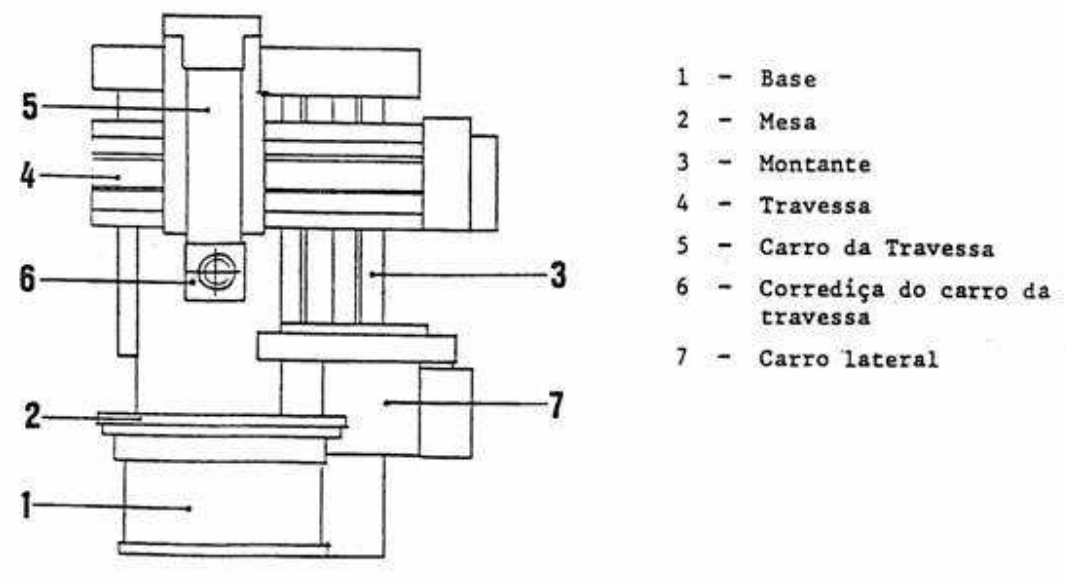


Figura 2 – Torno Vertical de um Montante

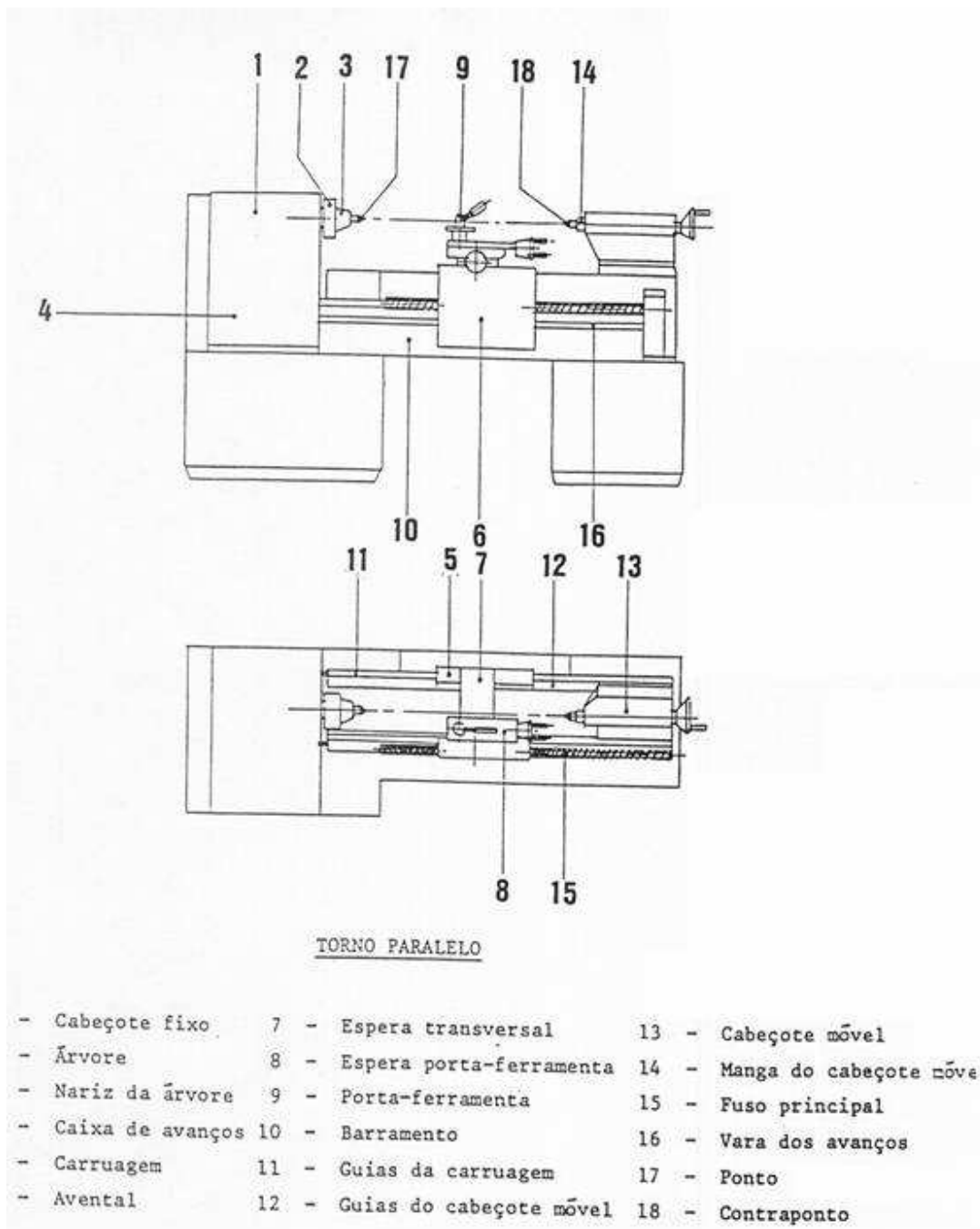


Figura 3 – Torno Paralelo

1.4.2 Engenhos de furar

a) Definição

Engenhos de furar são máquinas ferramentas que executam furos, abrem roscas, etc., em materiais por intermédio de ferramentas cortantes.

b) Principais tipos

- Engenho de furar vertical de coluna
- Engenho de furar de sobremesa
- Engenho de furar múltiplo
- Engenho de furar de várias colunas
- Engenho de furar radial

A nomenclatura dos principais órgãos de um engenho de furar vertical de coluna é dada na Figura 2.

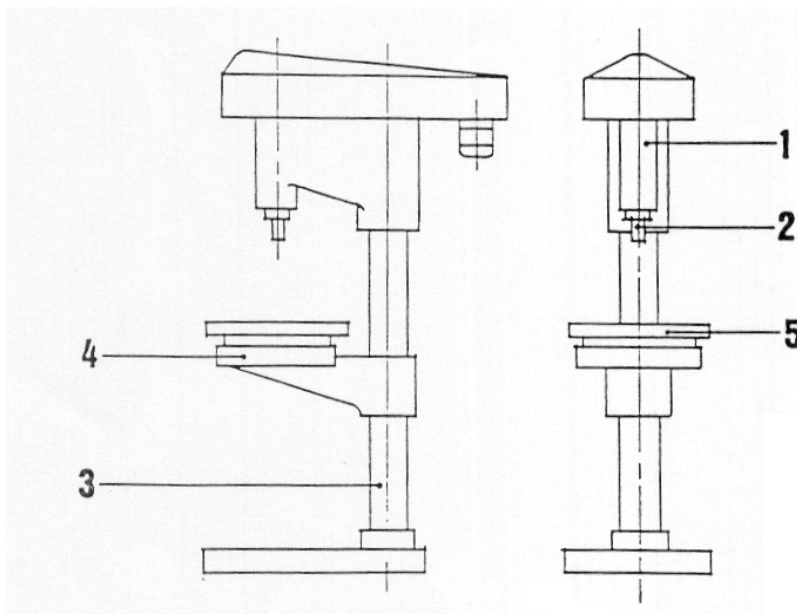


Figura 4 – Engenho de Furar Vertical de Coluna

1-Cabeçote porta-árvore; 2-Árvore; 3-Coluna; 4-Mesa; 5-Placa de base

1.4.3 Fresadoras

a) Definição

Fresadoras são máquinas ferramentas que executam um trabalho no qual a ferramenta (fresa) de arestas cortantes dispostas simetricamente em redor de um eixo gira com movimento uniforme arrancando a apar.

b) Principais tipos

- Fresadora horizontal
- Fresadora de superfícies planas
- Fresadora vertical
- Fresadora universal
- Fresadora copiadora

A nomenclatura dos principais órgãos de uma fresadora vertical é dada na Figura 5.

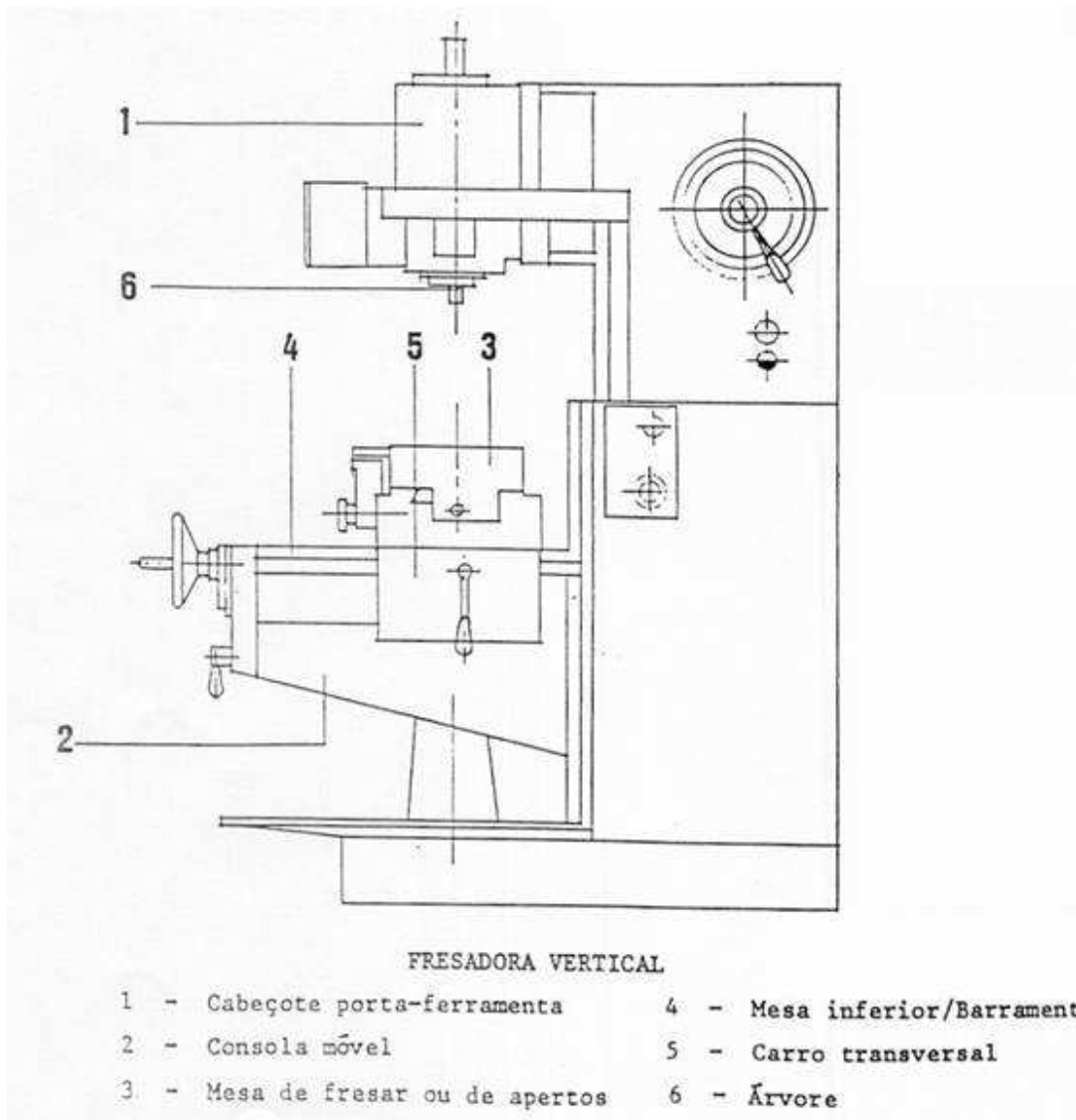


Figura 5 – Fresadora Vertical

1.4.4 Limadores

a) Definição

Limadores são máquinas ferramentas que executam um trabalho no qual o corte da aparta é realizado mediante a acção de uma ferramenta mono cortante, que se move com movimento rectilíneo alternativo sobre a superfície plana de um corpo.

b) Principais tipos

- Limador horizontal
- Limador vertical

A nomenclatura dos principais órgãos de um limador horizontal é dada na Figura 6.

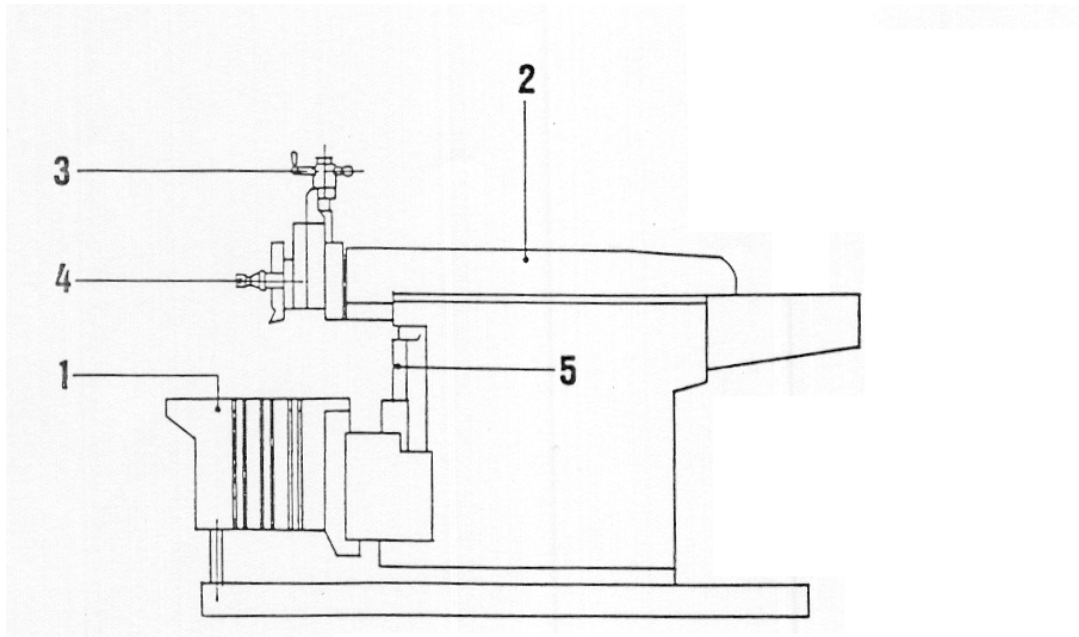


Figura 6 – Limador Horizontal

1-Mesa; 2-Cabeçote/Carro; 3-Espera porta ferramenta; 4-Porta ferramenta; 5-Guias

1.4.5 Plainas Mecânicas ("Cepilhadoras Longitudinais")

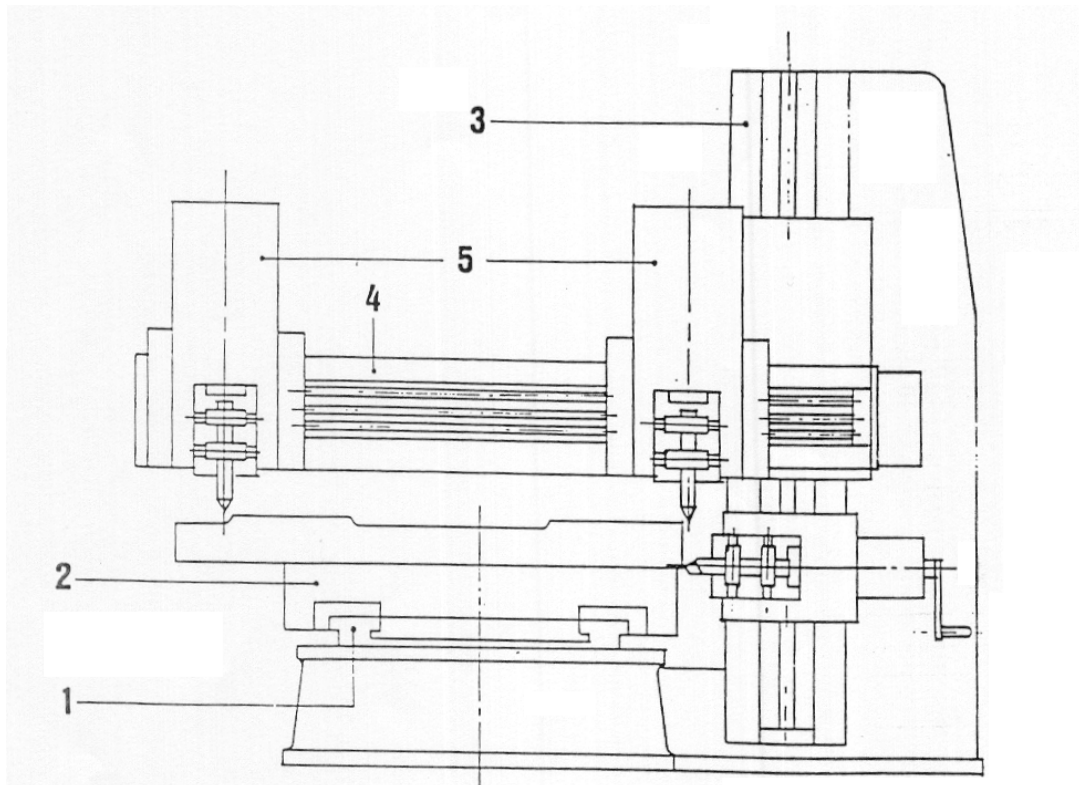
a) Definição

Plainas mecânicas são máquinas ferramentas que executam um trabalho no qual o arranque de apara da superfície plana da peça é realizado através de uma ferramenta mono cortante, em que o movimento principal rectilíneo alternativo é executado pela peça a trabalhar fixada sobre a mesa.

b) Tipos

- Plaina mecânica de um montante
- Plaina mecânica de dois montantes.

A nomenclatura dos principais órgãos de uma plaina mecânica de um montante é dada na Figura 7.



PLAINA MECÂNICA DE UM MONTANTE

- | | |
|-------------------------|----------------------------|
| 1 - Barramento ou guias | 4 - Barramento transversal |
| 2 - Mesa | 5 - Carro porta-ferramenta |
| 3 - Montante ou coluna | |

Figura 7 – Plaina Mecânica de um Montante

1.4.6 Rectificadoras

a) Definição

Rectificadoras são máquinas ferramentas que executam a correção das imperfeições em superfícies quer em peças de ferro fundido ou aço (antes ou depois do tratamento térmico), quer em metais não ferrosos ou suas ligas. Podem igualmente rectificar materiais não metálicos.

b) Principais tipos

- Rectificadora vertical para superfícies planas
- Rectificadora horizontal para superfícies planas
- Rectificadora universal
- Rectificadora radial

- Rectificadora de superfícies cilíndricas interiores
- Rectificadora de superfícies cilíndricas exteriores
- Rectificadora por coordenadas.

A nomenclatura dos principais órgãos de uma rectificadora universal, e de uma rectificadora radial, é dada respectivamente nas Figura 8 e seguinte.

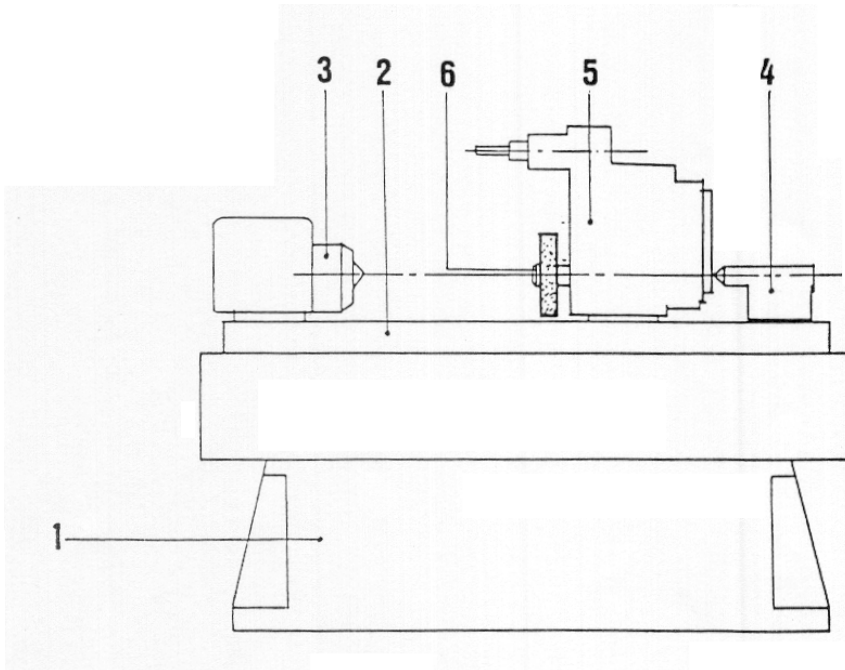


Figura 8 – Rectificadora Universal

1-Base; 2-Mesa; 3-Cabeçote fixo; 4-Cabeçote móvel; 5-Carro porta-mó;
6-Árvore porta-mó

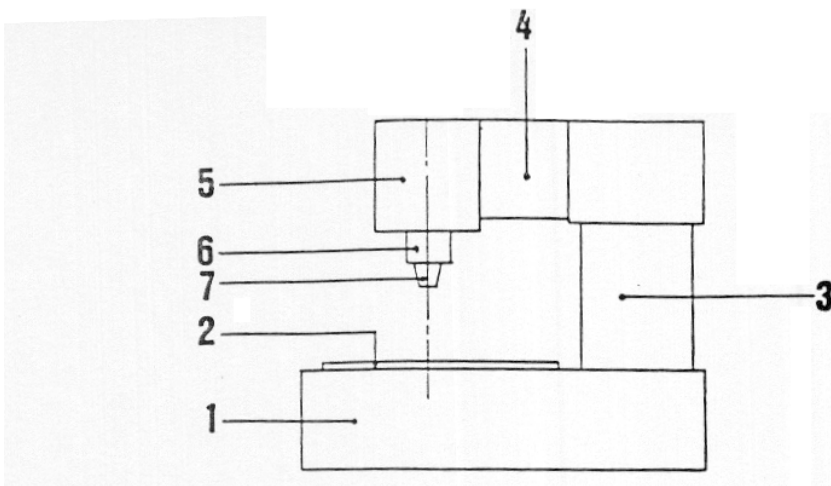


Figura 9 – Rectificadora Radial

1-Base; 2-Mesa; 3-Coluna; 4-Braço; 5-Cabeçote; 6-Árvore porta-mó; 7-Nariz da
árvore

1.4.7 Mandriladoras

a) Definição

Mandriladoras são máquinas ferramentas que executam diversas operações, tais como: mandrilagem, fresagem, torneamento, etc., de peças volumosas, nas quais a ferramenta arranca a aparta segundo uma trajectória circular.

b) Principais tipos

Mandriladora universal de mesa horizontal

Mandriladora universal de mesa vertical

A nomenclatura dos principais órgãos de uma mandriladora horizontal é dada na Figura 10.

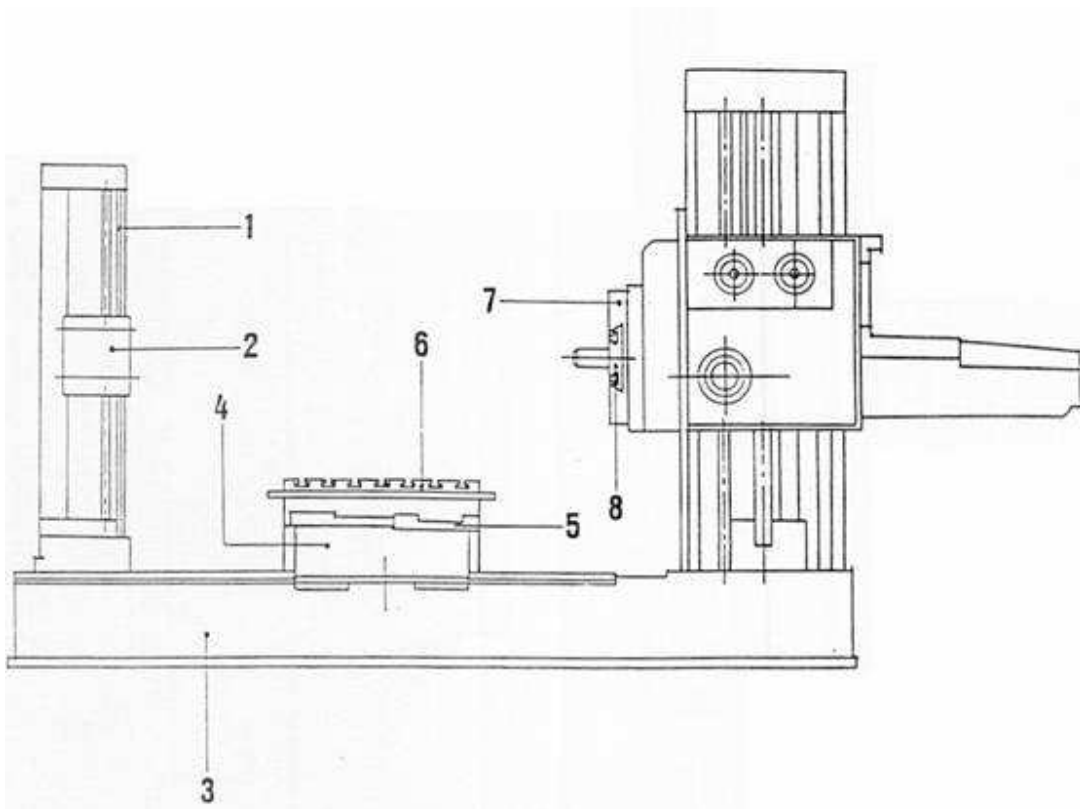


Figura 10 – Mandriladora Universal de Mesa Horizontal

1-Corredeja da luneta; 2-Luneta; 3-Bancada; 4-Carro; 5-Carro intermédio;
6-Mesa giratória; 7-Cabeçote; 8-Carro radial

1.4.8 Serrotes Mecânicos

a) Definição

Serrote mecânicos são máquinas ferramentas que permitem o corte de materiais de diferentes dimensões, no qual a ferramenta (serra) está dotada de movimento rectilíneo alternativo.

b) Principais tipos

Serrote mecânico de arco

Serrote mecânico de disco

A nomenclatura dos principais órgãos de um serrote mecânico de arco é dada na Figura 11.

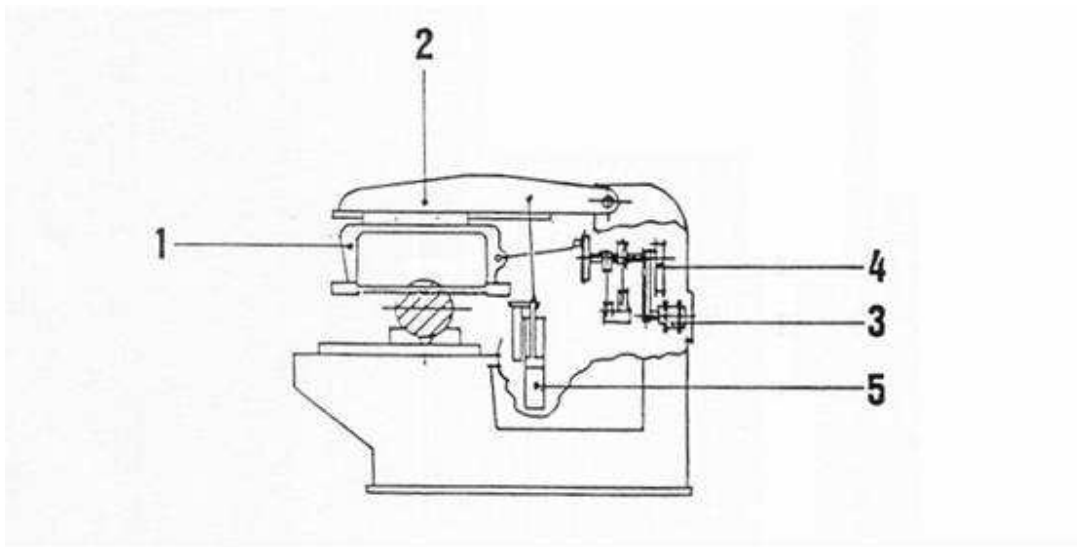


Figura 11 – Serrote Mecânico de Arco

1-Patim da serra; 2-Arco da serra; 3-Motor eléctrico; 4-Mecanismo de accionamento;

5-Macaco hidráulico de levantamento da serra

1.4.9 Máquinas ferramentas compostas (Centros de Maquinagem)

a) Definição

Máquinas ferramentas compostas são máquinas ferramentas que fabricam unidades construtivas normalizadas. Estas máquinas são importantes na fabricação em série, em que realizam operações de furar, mandrilar, roscar, fresar, etc. Regra geral maquinam peças que durante o processo permanecem estacionárias.

Esquemas típicos de máquinas ferramentas compostas para furar e mandrilar estão representados na Figura 12.

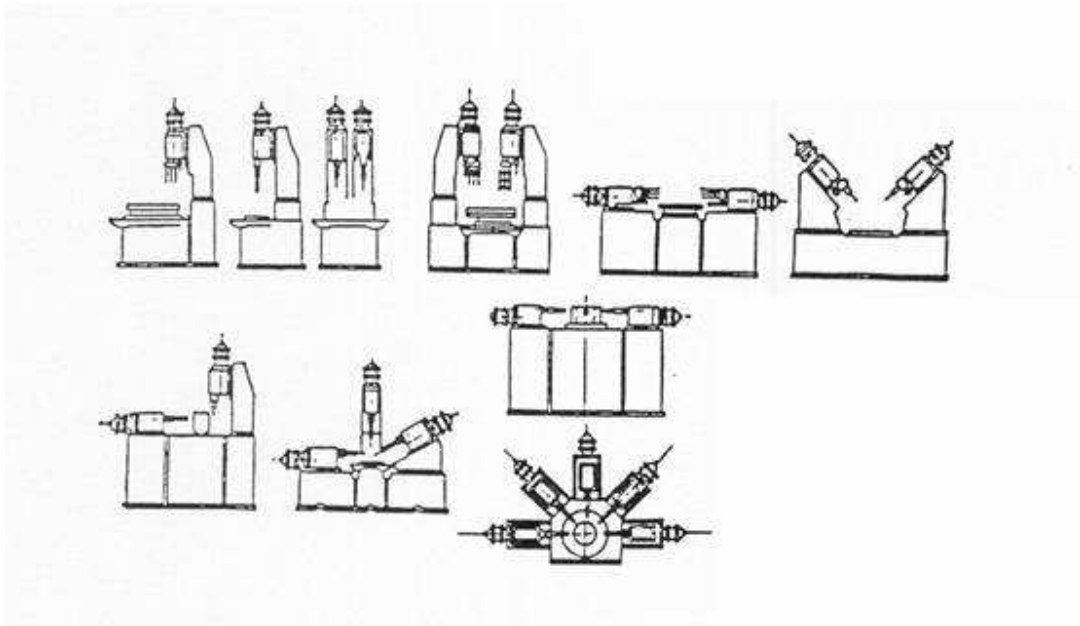


Figura 12

1.4.10 Linhas de Fabricação (Trens de Produção)

a) Definição

Linhas de fabricação são séries de máquinas ferramentas, mecanismos de transporte e controle intercomunicados que verificam automaticamente operações de maquinação ou montagem, segundo um processo tecnológico, previamente calculado possuindo um mecanismo comum de comando.

Uma linha de fabricação para maquinar uma roda de coroa, assim como a respectiva tecnologia de maquinagem estão representadas na Figura 13.

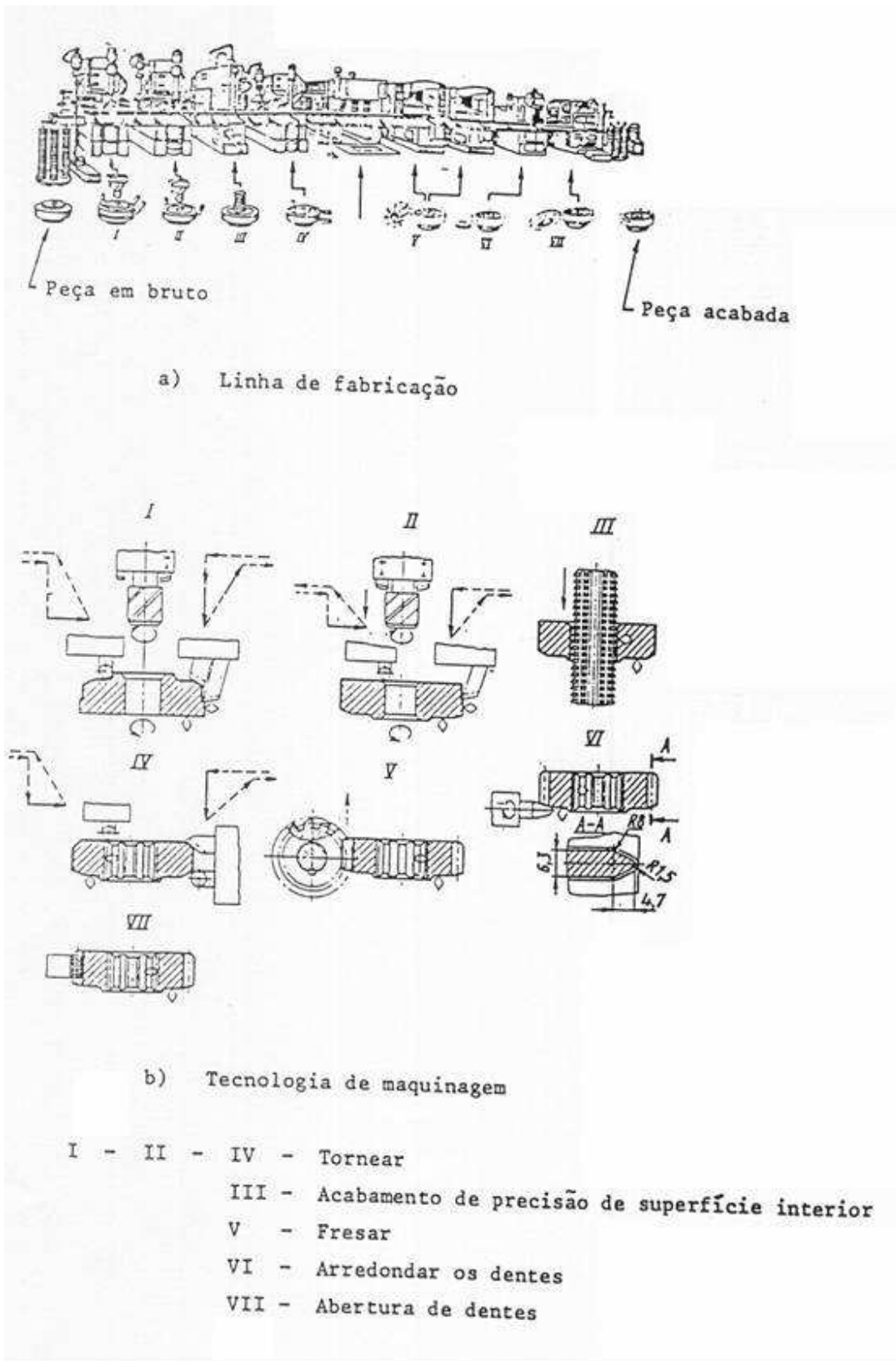


Figura 13

1.5 Síntese da teoria do corte por arranque de apra

1.5.1 Geometria da cunha cortante

Denomina-se cunha cortante a parte da ferramenta que origina a formação da apra sob a acção do movimento relativo peça ferramenta. As ferramentas de corte podem ter uma ou mais cunhas cortantes limitadas por superfícies planas ou não que se intersectam segundo linhas rectas, quebradas ou curvas, chamadas arestas de corte.

A definição dos elementos geométricos nos casos de uma fresa frontal, de uma broca helicoidal e de um ferro de torneiar cilíndrico encontram se representados nas figuras 1, 2 e 3, respectivamente.

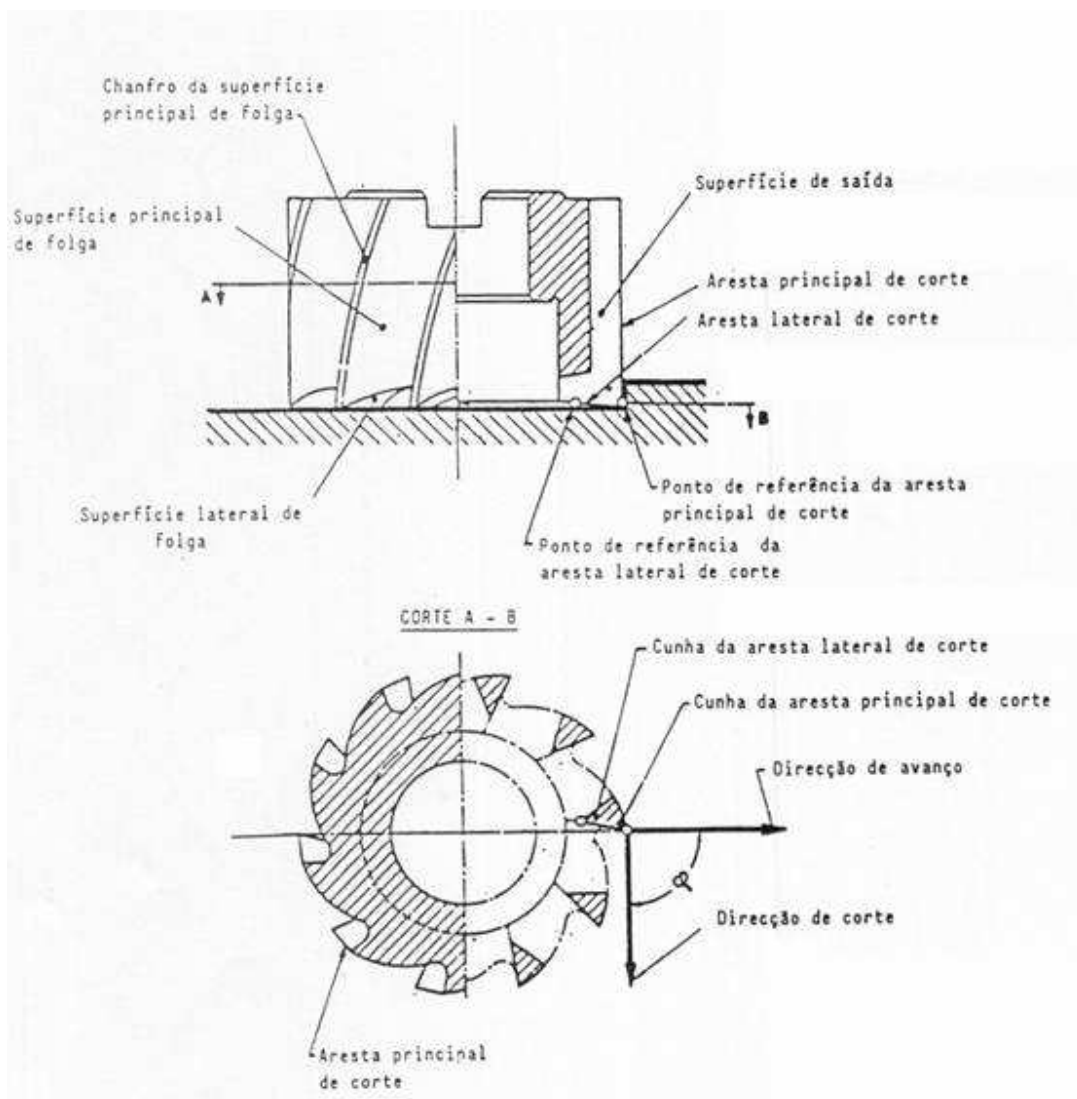


Figura 14-Fresa frontal: elementos geométricos da cunha cortante

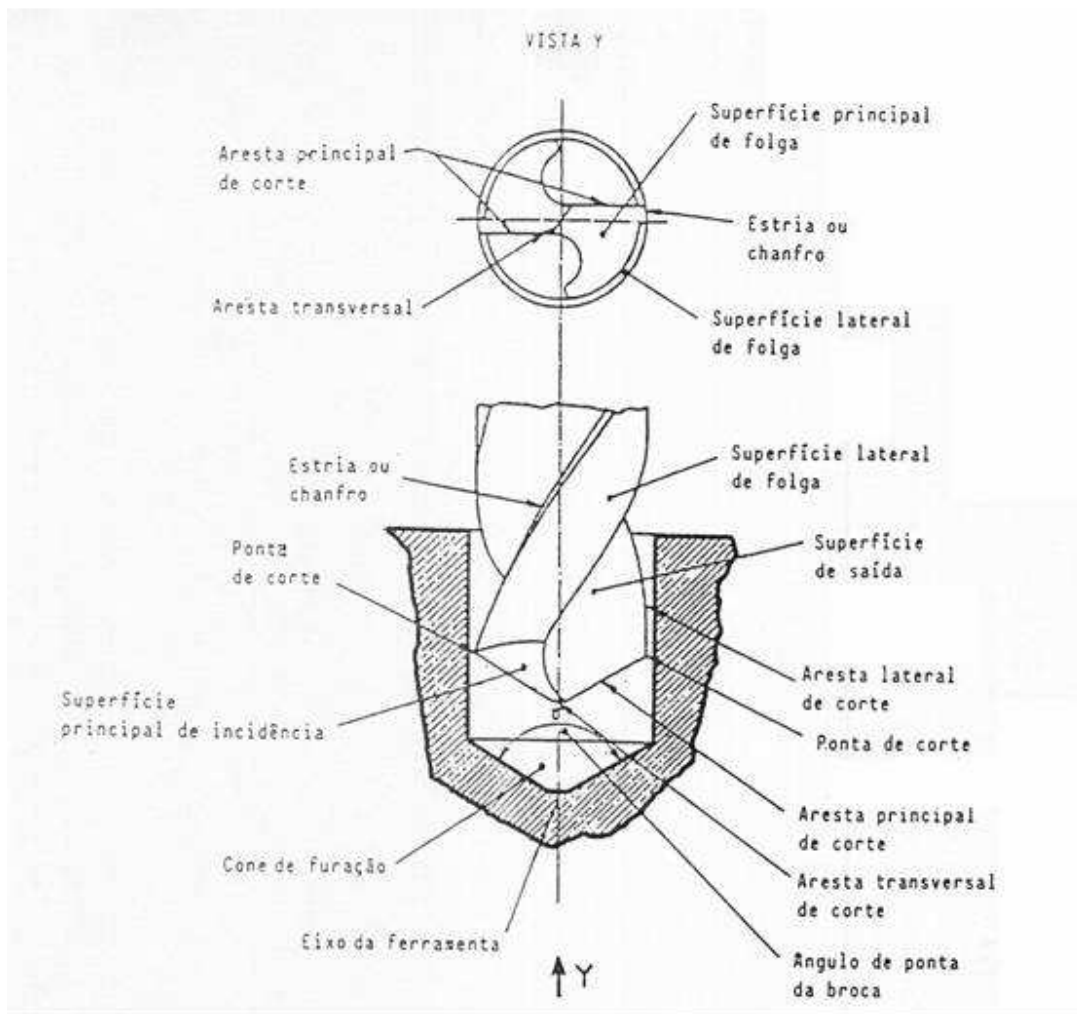


Figura 15-Broca helicoidal: elementos geométricos da cunha cortante

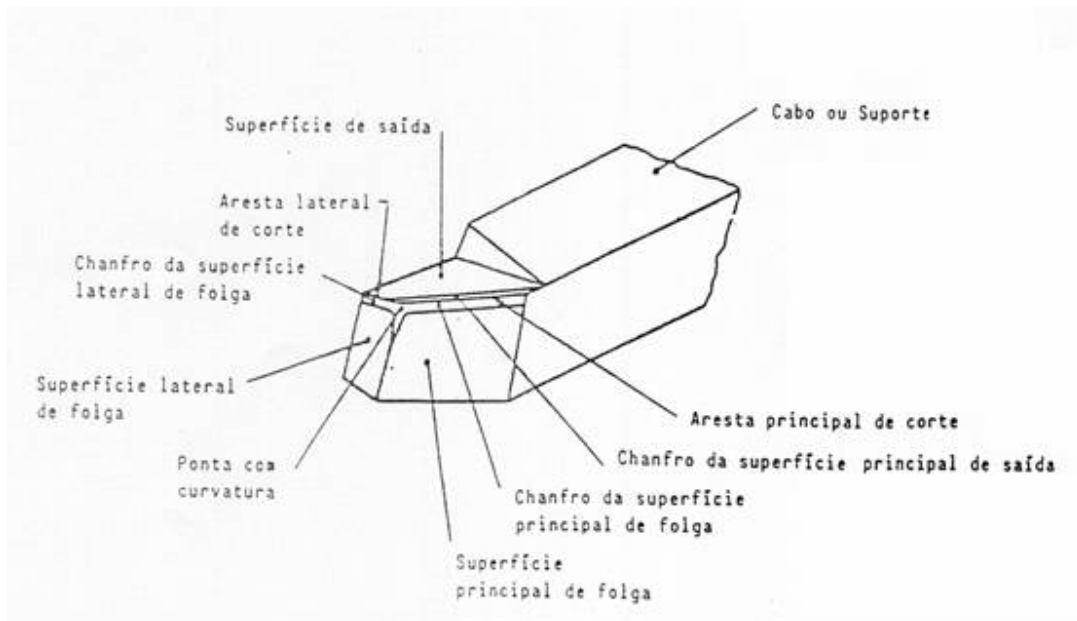


Figura 16-Ferro de toronar cilíndrico: elementos geométricos da cunha cortante

1.5.2 Classificação da apara quanto ao tipo

- Apara descontínua, característica dos materiais frágeis ou de estrutura heterogênea. (Fig. 4)
- Apara contínua, característica dos materiais dúcteis de estrutura homogênea dita "irregular" (Fig. 5) ou "regular" (Fig. 6), conforme seja ou não acompanhada da formação de apara aderente.

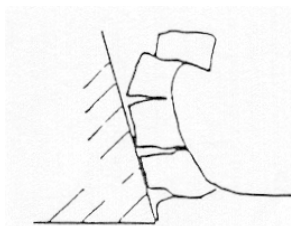


FIG. 4
APARA DESCONTINUA

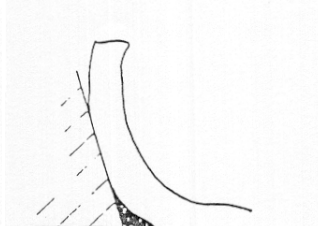


FIG. 5
APARA CONTINUA IRREGULAR

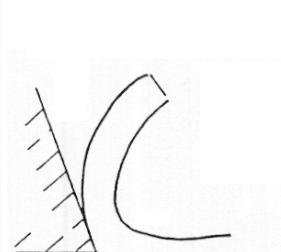
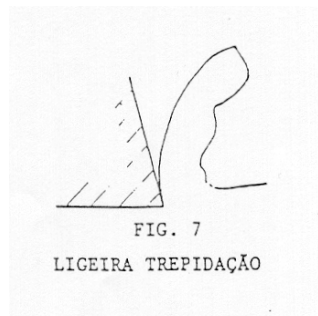


FIG. 6
APARA CONTINUA REGULAR



A alteração das condições de maquinagem numa operação de corte de um dado material pode determinar alteração do tipo de aparas produzida.

Assim, verificando-se trepidações da ferramenta, uma aparas contínua poderá passar a apresentar uma variação sensível de espessura se a trepidação é ligeira (Fig. 7) ou transformar-se mesmo numa aparas de tipo "descontínua não fragmentada" (Fig. 8) se a trepidação é grande.

1.5.3 Calor gerado no corte por arranque de aparas

O desenvolvimento de calor no corte por arranque de aparas tem as seguintes origens (Fig. 9):

Na região de escorregamento (I), devido ao atrito interno que acompanha a deformação plástica do material e subsequente escorregamento.

- Atrito entre a aparas e a superfície de saída da ferramenta (II).
- Atrito entre a superfície de folga da ferramenta na área adjacente à aresta de corte e a superfície maquinada da peça (III).

Foi experimentalmente comprovado que cerca de 90% do trabalho mecânico de maquinagem se transforma em calor cuja dissipação se vai fazer através da aparas, da peça, da ferramenta e do meio ambiente (onde consideramos incluído o fluido de corte quando este é refrigerado).

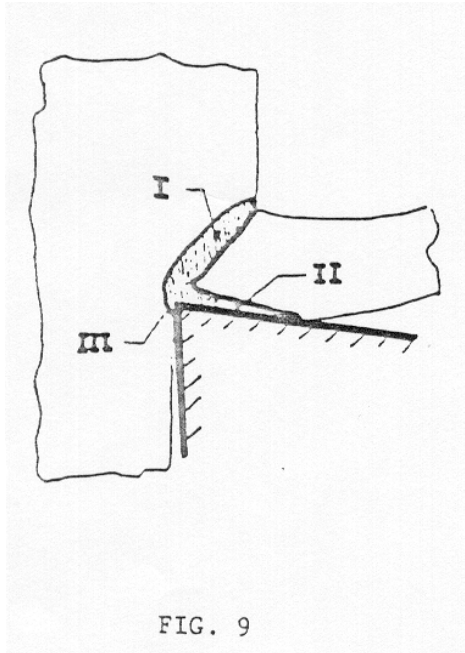


FIG. 9

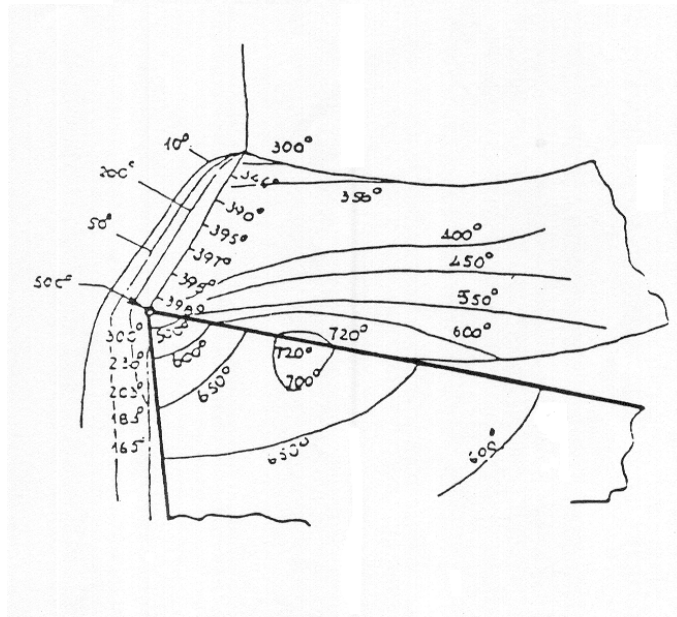


FIG. 10

TEMPERATURA ATINGIDA NO CORTE E SUA DISTRIBUIÇÃO PARA UM AÇO TORNEADO COM METAL DURO A UMA VELOCIDADE DE 60 m/MIN.

2 Corte por fusão (ou corte térmico)

O corte por fusão mais usado é o oxicorte, sem qualquer ajuda de fluxos ou técnicas especiais; esta técnica apenas pode ser usada para metais ferrosos (e nem todas as ligas ferrosas). O processo do oxicorte depende do facto de a elevadas temperaturas, o oxigénio combinar-se rapidamente com o ferro para formar óxidos de ferro (reação química com combustão).

Esta formação de óxido tem lugar numa zona bem definida, muito estreita, o que facilita a precisão obtida no corte.

Antes de executar o corte térmico, a peça tem de ser aquecida a 820/870 °C, no início do corte, antes do oxigénio (de grande pureza) ser imprimido contra a zona a cortar. Este corte é apenas possível em metais ou ligas onde a temperatura dos óxidos formados é inferior à do metal, isto é, quando a temperatura de queima (oxidação) é inferior à de fusão do material. Noutros casos é possível o uso de oxicorte, desde que se usem fluxos ou pó de ferro na zona a cortar (usado em aços inox, ferro fundido, cobre, alumínio, etc.).

Os parâmetros do corte, ou variáveis a ajustar pelo operador, em função da espessura e estado da superfície a peça a cortar, são:

- pressão de trabalho do oxigénio e do gás (acetileno ou propano).
- escolha do bico a utilizar
- velocidade de deslocação imprimido ao maçarico durante o corte.

Uma outra maneira de cortar metais que formam óxidos refractários na superfície, é pelo uso do arco plasma ou melhor do jacto de plasma (eléctrodo de tungsténio e atmosfera envolvente de gases inertes, e algumas vezes com injeção de oxigénio).

Em Engenharia Naval, o corte por arco plasma é usado em ligas de alumínio e em aços inoxidáveis; entretanto, está a começar a ser usado em aços não ligados quer na caldeiraria (corte automatizado) quer a bordo (corte manual).

Os lasers são também usados para corte de metais.

Finalmente há que referir que em construção naval o oxicorte é a operação mais automatizada.

Ver na Tabela 2 o efeito dos vários elementos de liga dos aços na eficiência e possibilidade de fazer oxicorte.

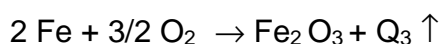
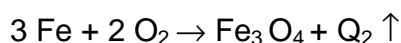
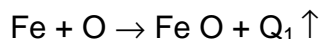
Tabela 2 Temperaturas de fusão de vários elementos, e dos seus respectivos óxidos, que constituem elementos de liga de aços e os seus efeitos no oxicorte desses mesmos aços

Elemento	Ponto fusão (°C)	Óxido	Ponto fusão do óxido (°C)	Efeito no oxicorte
Carbono	73500	CO CO ₂	-205 -57	C ≤ 0.25% fácil de cortar C > 0.25% necessita pré aquecimento
Manganês	1260	Mn O	1785	1.4 % Mn+1.5% C difícil de cortar necessita de pré aquecimento
Silício	1410	Si O ₂	1710	Pouco efeito
Crómio	2575	Cr ₂ O ₃	2275	Cr ≤ 5% fácil de cortar Cr > 10% corte possível com pó de ferro
Níquel	1455	Ni O	1950	Ni ≤ 20 a 30% só possível quando o teor de carbono é baixo Ni ≤ 7% fácil de cortar Aços 18.8 a 35-15 Cr Ni Só é possível cortar com pó de ferro
Molibdénio	2620	Mo O ₃	795	Aço Cr Mo – fácil de cortar Aços Mo W – requerem fluxos
Tungsténio	3370	W O ₃	1470	W ≤ 12-14% fácil de cortar W > 20% difícil de cortar
Alumínio	660	Al ₂ O ₃	2048	Al < 10% - corta-se Al > 10% - difícil de cortar
Cobre	1082	Cu O Cu ₂ O	1021 1230	Cu < 2% fácil de cortar
Ferro	1537	Fe O Fe ₂ O ₃ Fe ₃ O ₄	1365	

2.1 Oxicorte

Neste processo o corte é conseguido por transferência de energia térmica até à fusão, seguida da aplicação de um jacto de oxigénio que oxida o metal numa secção; os óxidos que tenham um ponto de fusão inferior ao dos metais a cortar, liquefazem-se, permitindo a separação das peças na zona de incidência do jacto de oxigénio.

As reacções de oxidação são extremamente exotérmicas, o que permite uma certa continuidade e rapidez na sequência do corte:



Q₁, Q₂ e Q₃ – Energia calorífica libertada durante a reacção química

As condições necessárias para que ocorra o oxicorte são:

- A temperatura de escoamento das reacções de oxidação tem de ser inferior ao ponto de fusão
- A temperatura de fusão dos óxidos formados tem de ser inferior à temperatura de fusão do material
- A reacção de oxidação tem de ser suficientemente exotérmica.

São diversos os gases combustíveis usados; o mais vulgarizado é o acetileno (que deu origem ao termo oxi-acetilénico); o mais usado em estaleiros navais é o propano, por razões económicas.

O gás a usar deve ter as seguintes características:

- Temperatura de chama elevada
- Velocidade de propagação de chama elevada
- Capacidade calorífica elevada
- Reacção química com os materiais de base reduzida ou nula

2.2 Arco plasma

Em termos gerais, o plasma é frequentemente referido como o quarto estado da matéria (além do sólido, do líquido e do gasoso).

O plasma forma-se quando o gás é suficientemente aquecido para se tornar ionizado e electricamente condutor. Este fenómeno é empregado no corte por arco plasma, permitindo que metais sejam cortados a velocidades elevadas com reduzida ou nula formação de escória.

Na essência, o processo envolve a ionização de um gás com um arco eléctrico, forçando o gás e o arco através de um pequeno orifício. O “maçarico” permite a admissão de gás frio que envolve o eléctrodo e quando o arco é estabelecido, entre o eléctrodo e a agulheta do maçarico, ocorre uma ionização parcial enquanto o gás é aquecido pelo arco.

O pequeno orifício por onde o gás parcialmente ionizado passa, produz uma elevada concentração de calor num espaço muito confinado, resultando num arco plasma atingindo temperaturas até 28000°C. Quando o fluxo deste plasma com alta velocidade atinge a superfície da peça, o metal é rapidamente fundido localmente e é soprado.

A técnica do corte por arco plasma foi iniciada em 1974 e hoje pode-se apresentar com três formas: gás duplo, injeção de água e ar plasma.

No sistema de gás duplo, emprega-se uma camada exterior de gás para envolver e proteger o jacto de plasma, possibilitando a redução do efeito de corte da atmosfera no gás de corte, levando a cortes muito rápidos e com perfis de corte agudos. As combinações possíveis de gás duplo no corte por plasma incluem argón e hidrogénio ou azoto e hidrogénio para cortar aços inoxidáveis, alumínio e outros metais não ferrosos. Nestes casos, o hidrogénio é o gás de corte, enquanto

que o argon serve de gás envolvente. Outra combinação que é frequentemente utilizada para cortar tantos metais ferrosos como não ferrosos é o azoto e o dióxido de carbono. Com todos estes sistemas de gás duplo usam-se eléctrodos de tungsténio.

O corte por arco plasma com injeção de água é similar ao anterior excepto que a água é usada em lugar do gás envolvente. O gás de corte é o azoto e o objectivo da água é primariamente produzir um máximo de constrição do arco.

Neste caso, a agulheta é equipada com uma cortina radial de água injectada para reduzir a largura e melhorar a qualidade do corte.

O ar plasma é, normalmente, reconhecido como o tipo de arco plasma mais eficiente. Neste caso, usa-se apenas ar comprimido. Devido à elevada temperatura que o ar atinge devido ao arco eléctrico, o ar dissocia-se, transformando-se em iões dos gases constituintes – azoto e oxigénio. O corte é altamente eficiente porque os iões de oxigénio são muito reactivos à temperatura do plasma, particularmente com metais ferrosos. Este sistema usa um eléctrodo de háfnio-cobre.

O ar plasma é o mais económico (menor custo por metro linear de corte), corta todos os materiais desde que sejam condutores eléctricos, com diversas espessuras de 0.75 a 30 mm.

2.3 A utilização dos eléctrodos de carvão no corte e chanfro

O processo de corte e abertura de chanfres utilizando eléctrodos de carvão fundamenta-se na acção combinada do arco eléctrico e de um jacto de ar comprimido.

O metal a retirar é fundido por intermédio do calor libertado no arco eléctrico e retirado pelo fluxo de ar comprimido. Para o efeito, o alicate porta-eléctrodos é alimentado por uma mangueira de ar comprimido e dispõe de uma série de furos, devidamente orientados, por onde sai o ar, sob uma dada pressão, incidindo sobre o espaço a cortar ou a chanfrar.

Com o recurso a este processo podem remover-se metais diversos, a altas velocidades, o que confere a esta operação um bom rendimento. É um método particularmente indicado na execução de cortes e na abertura de canais e chanfres nos seguintes metais:

- aço macio;
- ferro fundido e aço vazado;
- aço inoxidável;
- cobre e latão;
- ligas diversas.

O processo de corte e chanfrar com eléctrodos de carvão apresenta, relativamente aos métodos ainda tradicionais, como por exemplo os que utilizam ferramentas pneumáticas ou maçaricos, as seguintes vantagens:

- Elevada velocidade de remoção do metal. Economia.

- Fácil manejo.
- Inexistência do perigo de explosões.
- Relativamente pouco ruidoso.
- Enorme versatilidade.

Pelas suas características os eléctrodos de carvão estão a ser progressivamente utilizados nas mais diversas indústrias.

Na fundição são utilizados para a remoção de gitos, limpeza e afagamento de peças fundidas e ainda na remoção de defeitos.

Na siderurgia, os eléctrodos de carvão são utilizados na marcação de materiais, na remoção de inclusões de escória e no afagamento e limpeza de biletos.

Em trabalhos de caldeiraria e construção naval os eléctrodos de carvão são utilizados na limpeza de cordões de raiz, na remoção de soldaduras defeituosas, no corte de rebites e na execução de chanfros.

Os eléctrodos de carvão são também utilizados nas oficinas de manutenção, em diversos trabalhos em tubagem, chapas metálicas e peças fundidas.

Os fabricantes normalmente colocam no mercado eléctrodos de carvão para corrente alterna (AC) e para corrente contínua (DC), em vários diâmetros, embora os mais utilizados sejam de 6,35 mm (1/4") e 8 mm (0.316").

A intensidade requerida varia de 150 a 350 amperes para os referidos diâmetros, sendo o desgaste do eléctrodo por minuto de trabalho de cerca de 100 mm, removendo em média por minuto 168 gramas (\varnothing 6.35) e 240 gramas (\varnothing 8).

Com estes eléctrodos podem obter-se chanfros com a profundidade de 2,5 mm (\varnothing 6,35) e 3 mm (\varnothing 8) e com uma largura de 8 mm (\varnothing 6,35) e 10 mm (\varnothing 8).

Para se trabalhar com os eléctrodos de carvão as regras são relativamente simples:

- Um dos terminais do alicate é ligado à máquina de soldar. (Sempre que se utilizar corrente contínua deve empregar-se a polaridade directa para os metais ferrosos e a polaridade inversa para os outros casos). O outro terminal é ligado ao tubo de ar comprimido.
- O eléctrodo é colocado no alicate de modo a que não fique saliente mais que 150 mm.
- Depois liga-se o ar comprimido, a uma pressão de 5 a 7 Kg/cm² e com um débito de 0,5 a 3 m³/min.
- Escovar o arco pelo contacto entre o eléctrodo e a peça. O arco deve ser mantido muito curto, ou seja, com um comprimento de 1 a 5 mm.
- Pretendendo-se um corte profundo ou um chanfro, deve inclinar-se o eléctrodo de carvão de cerca de 45° e deslocar-se o alicate na direcção da inclinação do eléctrodo.

2.4 Corte a LASER

2.4.1 Introdução

O laser, que significa Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação, é hoje em dia sinónimo de máxima eficiência e máxima qualidade no processamento de materiais.

O uso do laser em aplicações industriais surgiu no início da década de 70, com os lasers a gás. Os primeiros trabalhos de investigação que conduziram à invenção do laser datam de 1917, realizados por Albert Einstein.

Um feixe de laser consegue cortar, fundir, ligar e mesmo evaporar materiais através do uso de uma forma inteiramente nova capaz de produzir feixes de luz que atingem grandes quantidades de energia através de longas distâncias. Por esta razão os metais atingem temperaturas extremamente elevadas na zona de incidência do feixe.

Actualmente o laser tem aplicações em diversas áreas como as **Indústrias Aeroespacial, Indústria Naval, Automóvel** e muitas outras.

Na **Construção Naval**, cerca de 40% a 50% do tempo gasto na construção de navios, é dedicado à correcção e remoção de distorções. O uso do laser para corte de peças é a maior aplicação deste nas indústrias que utilizam este equipamento. A precisão do corte a grandes velocidades e a ajustabilidade, sem que haja contacto físico com a peça, fazem do laser a ferramenta óptima para o corte de chapas finas.

2.4.2 Como funciona o LASER

O laser é um equipamento onde é gerado um feixe de radiação designado por emissão estimulada. Este feixe ao interagir com o material estimula a emissão de fotões, e a transição para um nível mais baixo de energia. Um laser, simplificado, é constituído por 3 elementos principais: **um meio activo; uma fonte de excitação** e a **cavidade de ressonância**.

O meio activo contém os elementos responsáveis pela emissão estimulada. A fonte de excitação fornece a energia ao meio e pode ser corrente eléctrica, rádio-frequência, um feixe de electrões, outro feixe laser ou mesmo uma lâmpada flash. **A cavidade de ressonância** delimita o volume que contém os fotões ou a radiação laser produzida e é responsável pela manutenção da inversão da população, que é fundamental para assegurar que o número de átomos excitados seja maior que o número de átomos no estado fundamental, ou seja para manter a emissão constante e contínua de fotões. Os lasers são designados pela constituição do meio. Os lasers típicos usam electricidade, para criar um feixe de luz adaptado de baixa divergência, que é muito diferente do feixe de luz vulgar não adaptado. Este feixe linear constituído por raios paralelos consegue cortar metais ou soldá-los.

A luz do laser pode apresentar diferentes cores no espectro da luz visível, ou pode ser invisível, quando os raios são infravermelhos ou ultra-violeta.

2.4.3 Tipos de LASER

Existem diversos tipos de laser, consoante a constituição do seu meio e o seu funcionamento.

No quadro que se segue indicam-se os meios activos mais comuns nos lasers comerciais.

TIPO	ESTADO	SUBSTANCIA. ACTIVA	SUBSTRATO
CO	Gás	CO	N+He
He-Ne	Gás	Ne	He
Kripton	Gás	Kr	Kr
Árgon	Gás	Ar	Ar
Nd: YAG	Sólido	Nd +	YAG
Nd: Vidro	Sólido	Nd +	Vidro
Rubi	Sólido	Cr (0,05%)	Al O
Alexandre	Sólido	Cr +	AlBr O
Corantes	Líquido	Rodamina	Álcool

O corte de chapas por laser, tem a vantagem de produzir superfícies de corte com enorme precisão e muito menor distorção que em relação a outros processos como o oxicorte e o arco de plasma. Além de constituir num processo muito mais rápido, o laser também o laser tem ainda a vantagem de produzir pequenas **ZAC** (Zona Afectada pelo Calor é definida como a distancia medida perpendicularmente á superfície de corte). No corte por laser certos parâmetros especificam as performances do processo. A **Distorção** pode ser medida, por um parâmetro RZ atingindo valores inferiores a 50µm. As peças cortadas por laser podem ser usadas imediatamente ou processadas de seguida para outros fins sem qualquer tratamento adicional. A intensidade do foco é grande o suficiente para evaporar directamente o material, e é muitas vezes usado para não-metals. No corte de metais por laser, o nitrogénio ou o oxigénio é normalmente aplicado. O feixe é focado no local pretendido através de lentes, provocando a fusão do material. O gás assistido (diferente do gás usado como meio) é ejectado co-axialmente através do corte para remover o material acumulado (ver Figura 17).

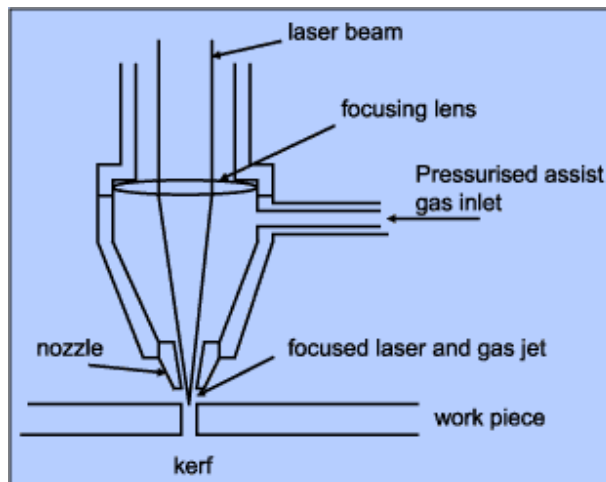


Figura 17 - Cabeça de corte de um laser

O uso do oxigénio ou nitrogénio no corte, depende da qualidade requerida na aplicação. O oxigénio reage fortemente com o material, produzindo grandes velocidades de corte quando comparadas com o nitrogénio, devido a contribuições exotérmicas. O oxigénio é o principal gás de corte para aços de baixa liga, e a sua pureza influencia directamente a velocidade de corte máxima. No entanto o nível de óxidos que se forma na superfície de corte não é desejável. Quando o aço inoxidável é cortado com oxigénio, a resistência á corrosão é destruída e surge uma superfície irregular não aceitável, e no alumínio é encontrada escoria aderente á superfície. Para chapas de aço e alumínio o nitrogénio é usado como gás de corte, pois consegue-se grandes velocidades e elimina-se o aparecimento de escoria. Materiais como o titânio ou o zircónio têm de ser protegidos do oxigénio ou do nitrogénio, ou seja do ar ambiente. Estes materiais são processados para corte com um elevado grau de pureza de árgon.

De entre os vários tipos, os mais populares são sem dúvida os laser de CO₂ e os laser Nd:YAG. Também os laser de exímeros estão a tornar-se comuns, estando ainda em fase de desenvolvimento e implantação industrial.

2.4.3.1 Laser de CO₂

Os laser de CO₂ são os mais populares. Funcionam com lentes que focam o feixe, possibilitando feixes de potencia superior em relação a outros tipos de laser, atingindo potências até 50kW e oferecendo uma eficiência de cerca de 5 a 10% . Este laser emite radiações com comprimentos de onda de 10,6mm e produz potências (densidade) de 10 W/mm². Em alguns sistemas devido a altas potências produzidas as próprias lentes são refrigeradas. O feixe produzido é de luz infra-vermelha, o que significa que não é visível ao olho humano, sendo frequente a permuta para um feixe de baixa potência visível ao olho humano durante o processamento da peça, para o seu alinhamento.

Os raios laser de CO₂ são transmitidos à peça por espelhos e ópticas transmissíveis. No entanto os sistemas de corte tridimensionais disponíveis para os laser de CO₂ são relativamente mais incómodos comparativamente aos laser Nd:YAG, e os laser de CO₂ são mais comuns no corte horizontal devido de duas

dimensões. Os lasers de CO₂ produzem espessuras de ZAC e distorções (parâmetro RZ) de 0.5mm.

O laser permite cortar aços até 40 mm (ver fig. II). O corte de chapas de aço inoxidável até 32mm usados na construção de navios está ilustrado na fig. III.

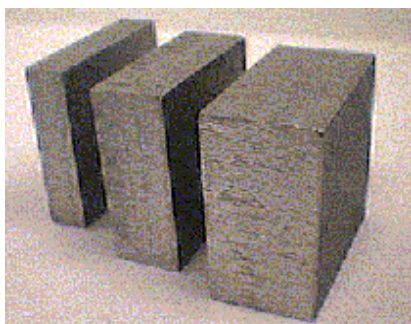


Fig. II. – Corte de peças até 32mm de aço inoxidável



Fig. III. – Aços de 20mm, 25mm, 32mm e 40mm

Os sistemas de laser de CO₂ necessitam de cuidados de manutenção como a limpeza e o realinhamento das lentes a cada 500 horas. Requer por isso assistência e operadores qualificados para a sua manutenção e utilização. Dentro dos sistemas de laser de CO₂ existem os de fluxo axial lento e fluxo axial rápido.

2.4.3.2 Lasers de fluxo axial lento

O laser de CO₂ de fluxo axial lento foi o primeiro a ser aplicado industrialmente. Neste laser a mistura activa flui na direcção em que se dá a propagação do feixe. O calor excedentário é removido por condução através de um fluido de refrigeração. Isto implica uma baixa eficiência deste tipo de lasers, exigindo grandes comprimentos de tubo. A potência máxima emitida é de cerca de 60W/m a 100W/m. Isto é, para ter um laser de 600W seriam necessários 6m de tubo. Este facto motivou o desenvolvimento de outros tipos de laser.

No quadro abaixo indica-se algumas características deste tipo de laser.

PROCESSO DE ARREFECIMENTO	CONDUÇÃO PARA AS PAREDES DO TUBO
Temperatura máxima	150°C
Potencia máxima emitida	70W/m

2.4.3.3 Lasers de fluxo axial rápido

Nestes lasers o gás flui a alta velocidade (cerca de 200m/s) segundo o eixo de um tubo de pequeno diâmetro na direcção de propagação do feixe. O arrefecimento dá-se por convexão forçada. A grande vantagem deste aumento da velocidade do gás é um aumento da sua capacidade para remover o calor, permitindo obter potências geradas e emitidas superiores. Nestes lasers conseguem-se extrair cerca de 600W/m A excitação do meio pode ser feita por corrente continua ou

rádio frequência. Os lasers comerciais mais comuns deste tipo têm uma potência de cerca de 2kW/m, excitados por rádio frequência.

No quadro seguinte indicam-se as principais características do laser de fluxo rápido.

	AXIAL	TRANSVERSO	HELICOIDAL
Qualidade Óptica da Zona Activa	Boa	Baixa	Baixa
Propriedades Ópticas do Modo	Excelentes	Baixas	Baixas
Fluxo de Corrente da descarga Eléctrica	Coaxial com o feixe	Perpendicular á direcção de propagação do feixe e fluxo do gás	Quase perpendicular ao fluxo do gás coaxial com a direcção de propagação do feixe
Dificuldades Técnicas	-	<ul style="list-style-type: none"> - Qualidade e controlo do modo - Arcos na descarga - Tempo de vida dos eléctrodos - Contaminações - Estanquicidade 	<ul style="list-style-type: none"> - Estabilidade de descarga - Gama de potência ajustável limitada - Contaminações - Estanquicidade

2.4.3.4 LASER Nd:YAG (Yttrium Aluminium Garnet)

O esquema de funcionamento é idêntico ao do CO₂. As tolerâncias também são idênticas às do laser de CO₂, ou seja valores inferiores a 0,5mm. A espessura de ZAC tal como o laser de CO₂ é também inferior a 0,5mm. No entanto a estrutura dos níveis de energia nestes lasers é mais complexa que as dos CO₂. O laser Nd:YAG emite comprimentos de onda de 1,06mm, através de fibras ópticas o que permite uma maior facilidade de manejo por computador, e oferecem potências até 5kW. A eficiência deste laser é relativamente baixa, entre 2% e 5%, devido a perdas na fonte de potência; conversão incompleta de energia fornecida pela fonte de alimentação; perdas na transferência da luz laser para o varão e absorção incompleta da luz pelos iões Nd 3+.

Este sistema requer a substituição de lâmpadas de flash a cada 1000 horas, exigindo tal como o sistema de CO₂, manutenção e operadores qualificados.

2.4.4 Considerações

Nas fig. IV. e V estão representadas as performances destes dois sistemas em relação a outros métodos de processamento de materiais. Na fig. 18 observa-se a tolerância de corte em relação á espessura do material, e na fig. 19, a velocidade do corte de laser.

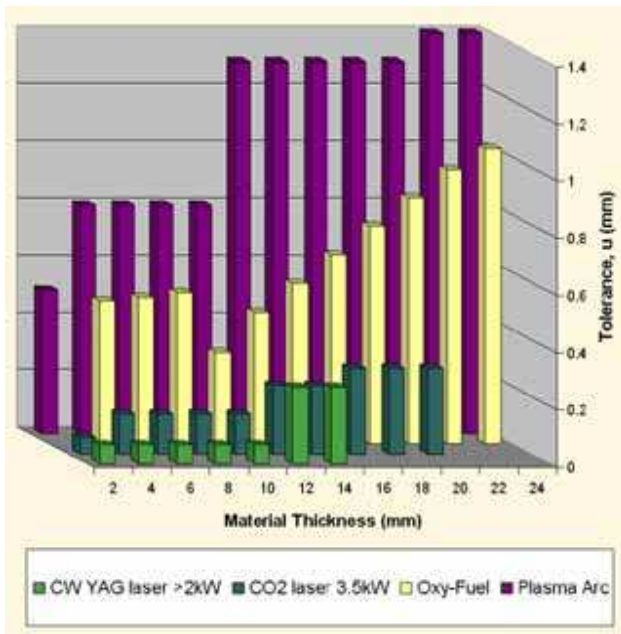


Figura 18 - Velocidade de corte versus Espessura do Material.

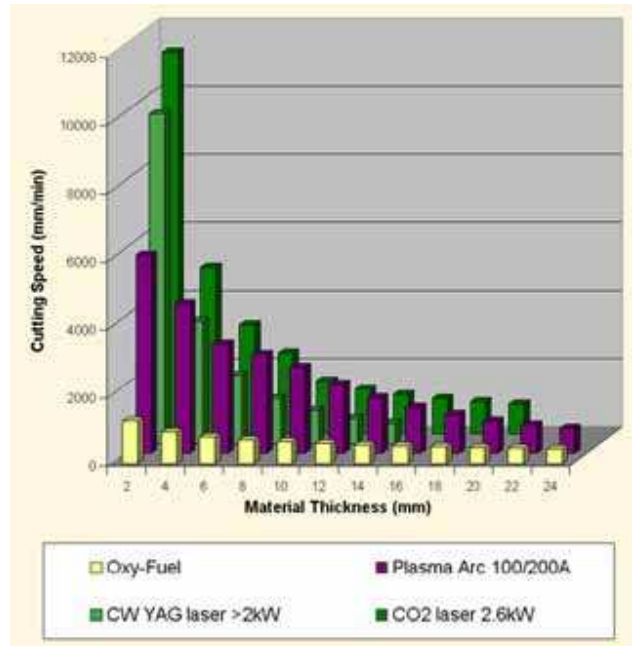


Figura 19 - Tolerância versus Espessura do material

Os custos deste equipamentos são bastante elevados quando comparados com outros processos de corte. Os sistemas de arrefecimento, de gás pressurizado, de orientação do feixe incidente, que constituem um equipamento laser encarecem muito esta tecnologia. As diferentes tecnologias de laser existentes, requerem operadores e pessoal altamente qualificados para a manutenção destes equipamentos, e para manter a qualidade de corte. Materiais com elevada condutividade térmica e altos coeficientes de reflexão como o alumínio e ligas de cobre podem criar dificuldades para o processamento de corte por laser. As performances podem ser mais baixas.

2.4.5 Cuidados a ter no corte por LASER

- **Radiação** – Durante este processo de corte tanto a radiação visível como invisível é produzida quando o feixe de laser incide na peça. Todos os metais reflectem os feixes de laser de CO2 até que uma certa densidade de potência seja alcançada. O alumínio por ser dos mais reflectores pode, inclusive, danificar o próprio equipamento. Esta radiação azulada e ultra-violeta (radiação secundária) pode queimar olhos e pele do operador muito rapidamente, causando lesões permanentes. O operador deve portanto usar o devido equipamento necessário à sua própria segurança.

- **Incêndios** – O perigo de incêndio existe sempre se o feixe atingir materiais inflamáveis; as fontes inflamáveis devem estar afastadas da zona de trabalho de modo a evitar potenciais incêndios.

- **Fumos Gerados** – Os lasers vaporizam metais muito facilmente, os vapores/fumos gerados apesar de não serem visíveis existem e estão presentes podendo ser bastante perigosos para a saúde.

- **Equipamento** – Como qualquer outro equipamento de alta potência, devem ser tomadas as devidas precauções devido aos riscos de choques eléctricos.