

BOMBAS

ÍNDICE:

1	INTRODUÇÃO.....	4
2.	CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS BOMBAS	5
3.	CLASSIFICAÇÃO DAS BOMBAS	6
3.1	BOMBAS CENTRÍFUGAS	6
3.1.1	COMPONENTES DAS BOMBAS CENTRÍFUGAS	7
3.1.1.1	ROTOR.....	8
3.1.1.2	CORPO ESPIRAL (OU VOLUTA).....	12
3.1.1.3	DIFUSOR.....	14
3.1.1.4	EIXO.....	14
3.1.1.5	LUVA PROTETORA DO EIXO	16
3.1.1.6	ANÉIS DE DESGASTE	16
3.1.1.7	SISTEMA DE VEDAÇÃO.....	18
3.1.1.8	SUPORTE E CAVALETE DE MANCAL.....	19
3.1.1.9	MANCAIS	20
3.1.2	PERDAS INTERNAS	20
3.1.3	RECIRCULAÇÃO HIDRÁULICA	23
3.1.4	CAVITAÇÃO EM BOMBAS CENTRÍFUGAS	24
3.1.4.1	MATERIAIS RESISTENTES À CAVITAÇÃO	25
3.1.4.2	INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS	26
3.1.4.3	DISTÚRBIOS OU BLOQUEIOS PARCIAIS NA LINHA DE SUÇÃO OU ENTRADA DA BOMBA.	27
3.1.4.4	VAZAMENTO EXCESSIVO ATRAVÉS DOS ANÉIS DE DESGASTE	27
3.1.4.5	CAVITAÇÃO NA VOLUTA	29

3.1.4.6	CAVITAÇÃO NAS PÁS DIFUSORAS.....	30
3.1.4.7	CAVITAÇÃO POR FLUXO EM SENTIDO INVERSO NA TUBULAÇÃO DE SUCCÃO.....	31
3.1.4.8	CAVITAÇÃO DEVIDO À IMPUREZAS NO LÍQUIDO BOMBEADO	32
3.1.5	CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO O NÚMERO DE ROTORES EMPREGADOS.....	32
3.1.6	OPERAÇÃO COM AS BOMBAS CENTRÍFUGAS	33
3.1.6.1	ACESSÓRIOS EMPREGADOS.....	34
3.1.6.2	DISPOSITIVOS DE ESCORVA	35
3.1.6.3	BOMBAS CENTRÍFUGAS AUTO-ESCORVANTES OU AUTO-ASPIRANTES	40
3.1.7	ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS	47
3.1.8	BOMBAS DE VÁRIOS ESTÁGIOS	47
3.1.9	EJETORES OU TROMPAS DE ÁGUA.....	48
3.1.10	BOMBAS PARA INDÚSTRIAS QUÍMICAS E DE PROCESSAMENTO	49
3.1.11	BOMBEAMENTO DE MATERIAIS ABRASIVOS	51
3.2	BOMBAS VOLUMÉTRICAS OU DE DESLOCAMENTO POSITIVO.	52
3.2.1	BOMBAS DE ÊMBOLO OU ALTERNATIVAS.....	52
3.2.2	BOMBAS ROTATIVAS	52
3.2.3	BOMBAS ALTERNATIVAS.....	52
3.2.4	BOMBAS ACIONADAS POR VAPOR.....	53
3.2.5	BOMBAS DE POTÊNCIA OU BOMBAS DE FORÇA (POWER PUMPS).....	55
3.2.6	BOMBAS DE DESCARGA CONTROLADA.....	56
3.2.6.1	CÂMARA DE AR (AMORTECEDOR DE PULSAÇÕES)	59
3.2.6.2	BOMBAS DE DUPLO EFEITO.....	62
3.2.6.3	BOMBAS DE SIMPLES EFEITO COM ÊMBOLO DIFERENCIAL.....	63
3.3	BOMBAS ROTATIVAS	68

3.3.1 CLASSIFICAÇÃO GERAL	68
3.3.2 BOMBAS DE MAIS DE UM ROTOR.....	75
4. BIBLIOGRAFIA.....	83

1 INTRODUÇÃO

Tendo as mais diversas funções, tamanhos e tipos, as bombas possuem infinitas aplicações, quer seja em automóveis, residências ou até mesmo nas usinas nucleares. Neste módulo veremos diversos tipos e aplicações de bombas, e ***ao final deste estudo o aluno deverá ser capaz de reconhecer das bombas: Seus elementos, suas características, funções e tipos principais.***

2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS BOMBAS

Bombas são máquinas operatrizes que transferem energia aos fluidos com a finalidade de transportá-los de um ponto ao outro. Recebe energia de uma fonte motora qualquer e cede parte desta energia aos fluidos sob forma de energia de pressão, energia cinética ou ambas, isto é, aumentam a pressão dos líquidos, a velocidade ou ambas as grandezas.

3. CLASSIFICAÇÃO DAS BOMBAS

Não existe uma terminologia sobre bombas, pois há vários critérios para designá-las; entretanto, poderemos classificá-las em duas grandes categorias:

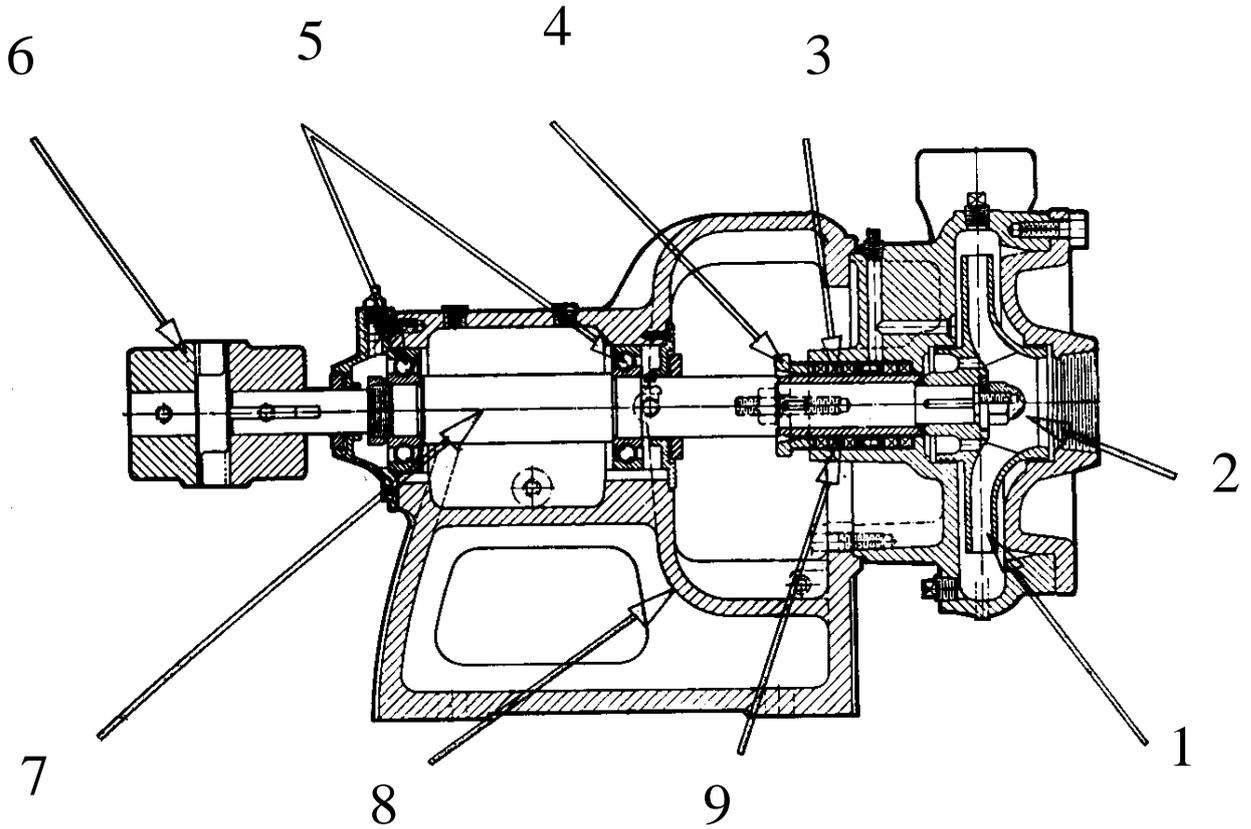
- Bombas Centrífugas;
- Bombas Volumétricas ou de Deslocamento Positivo.

3.1 BOMBAS CENTRÍFUGAS

Este tipo de bomba tem por princípio de funcionamento a transferência de energia mecânica para o fluido à ser bombeado em forma de energia cinética. Por sua vez, esta energia cinética é transformada em energia potencial (energia de pressão) sendo esta sua característica principal. O movimento rotacional de um rotor inserido em um carcaça (corpo da bomba), é o responsável por tal transformação.

3.1.1 COMPONENTES DAS BOMBAS CENTRÍFUGAS

Os principais componentes das bombas centrífugas são os seguintes:



- 1 – Rotor
- 2 – Porca do rotor
- 3 – Engaxetamento
- 4 – Sobreposta
- 5 – Mancais
- 6 – Acoplamento
- 7 – Eixo
- 8 – Suporte da bomba
- 9 – Luva do eixo

Fig.1

3.1.1.1 ROTOR

É o componente que transforma a energia de rotação em energia de velocidade e energia de pressão. O rotor consiste de paredes laterais, pás e cubo.

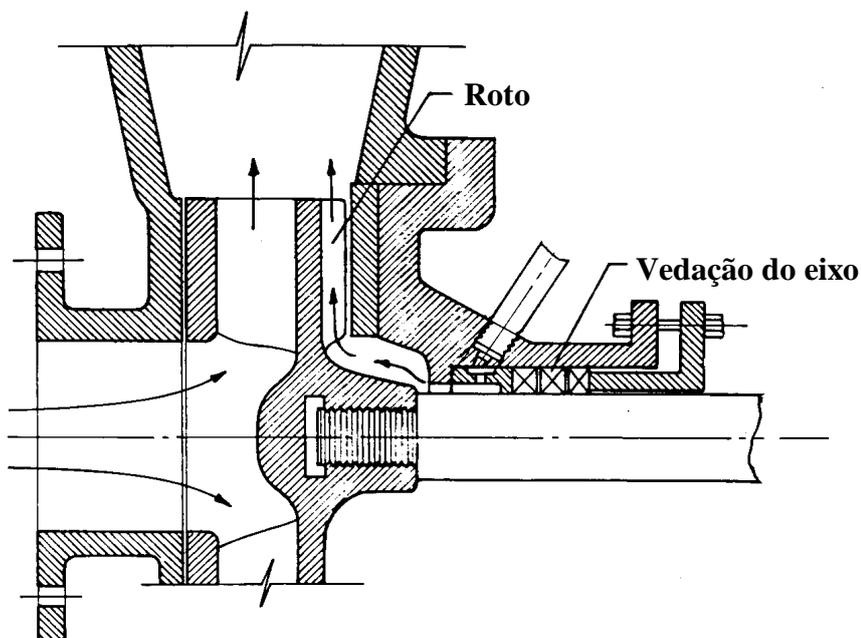
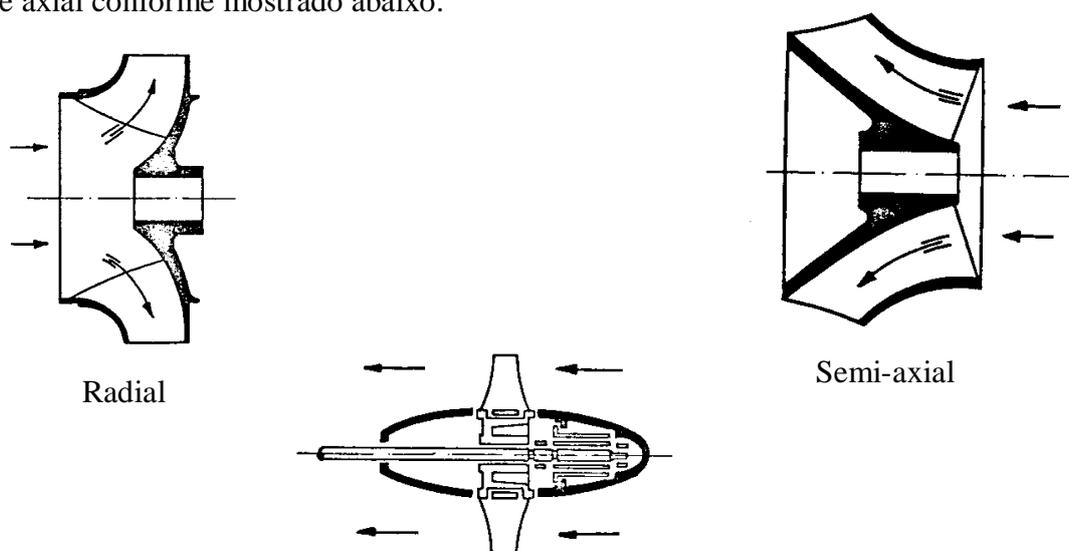


Fig.2

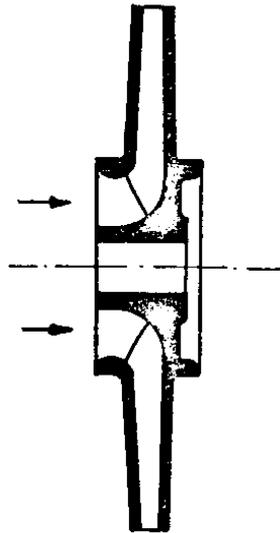
Em função da velocidade específica da bomba, o rotor pode ser do tipo radial, semi-axial, e axial conforme mostrado abaixo.



Axial
Fig.3

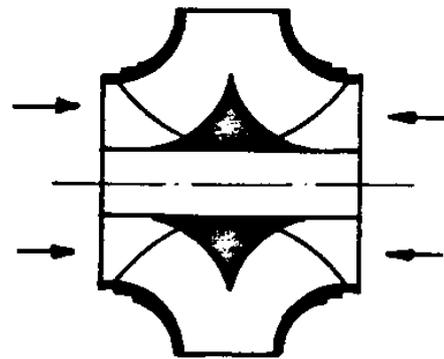
Além desta, existem outras classificações tais como:

- Rotor de fluxo simples ou duplo



Fluxo Simples

Fig.4



Fluxo Duplo

Fig.5

- Rotor semi-aberto (ou aberto) somente com parede traseira.

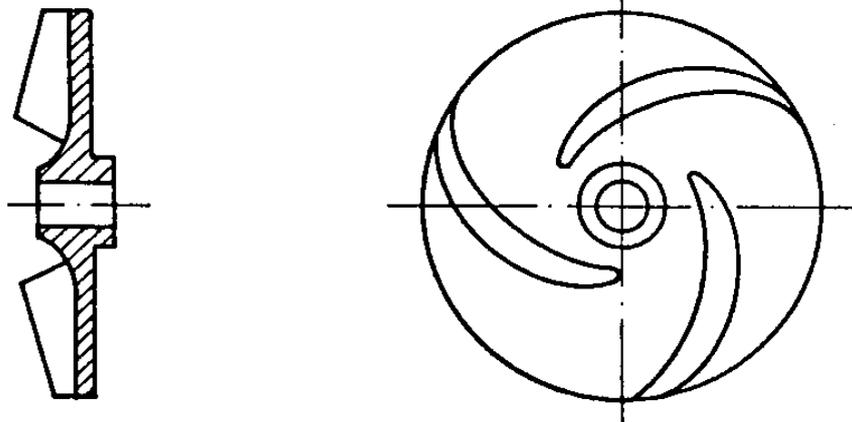


Fig.6

- Rotor aberto sem paredes com cubo e pás (similar ao axial).

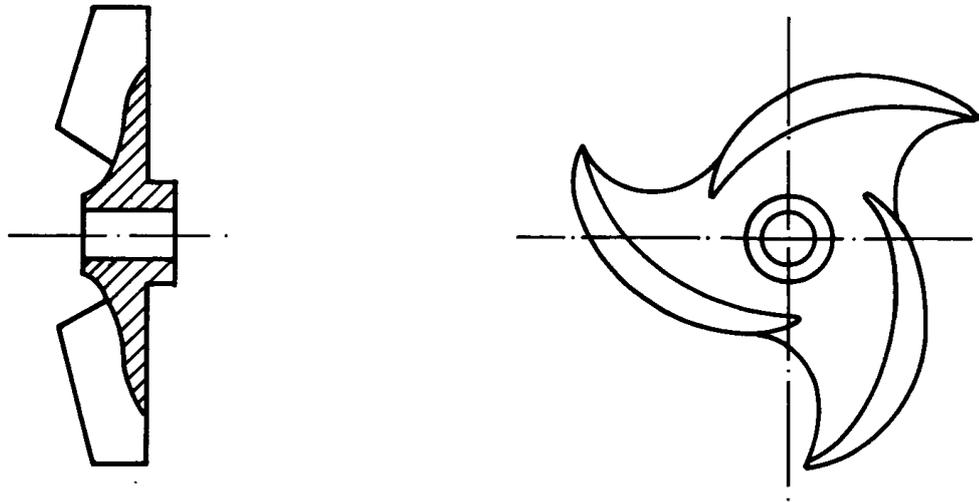


Fig.7

Na prática os rotores semi-abertos e abertos são chamados “rotores abertos”.

Para bombeamento de líquidos com sólidos existentes existem rotores especiais como:

- Rotor de dois canais com passagem larga para o bombeamento de líquidos sujos e viscosos

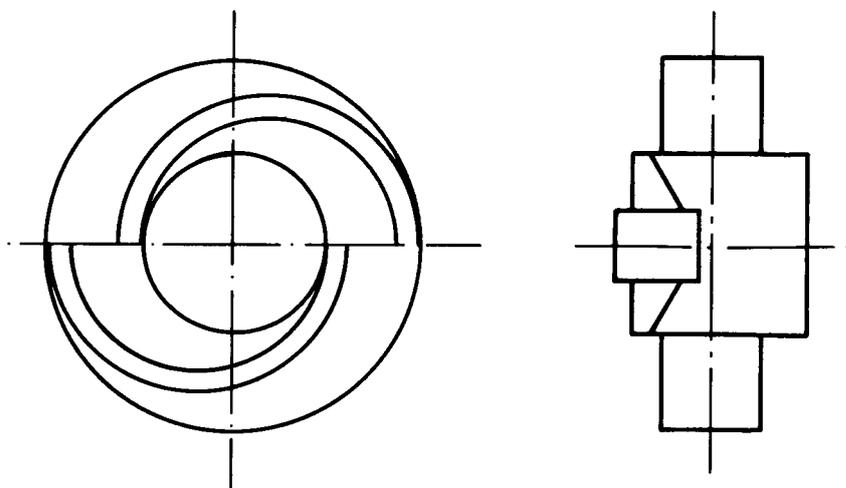


Fig.8

- Rotor fechado com duas, três ou quatro pás

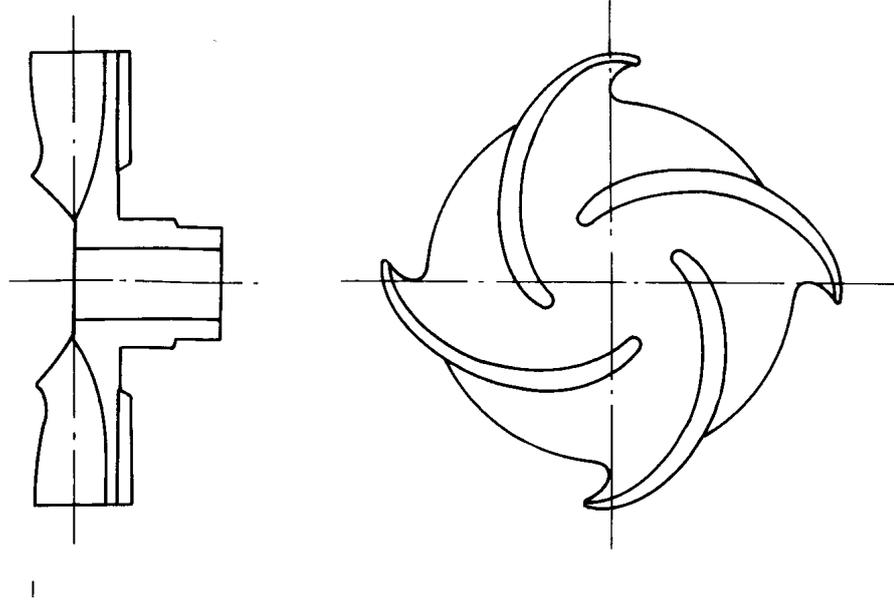


Fig.9

- Rotor especial para líquidos contendo polpas (Ex.: massa de papel)

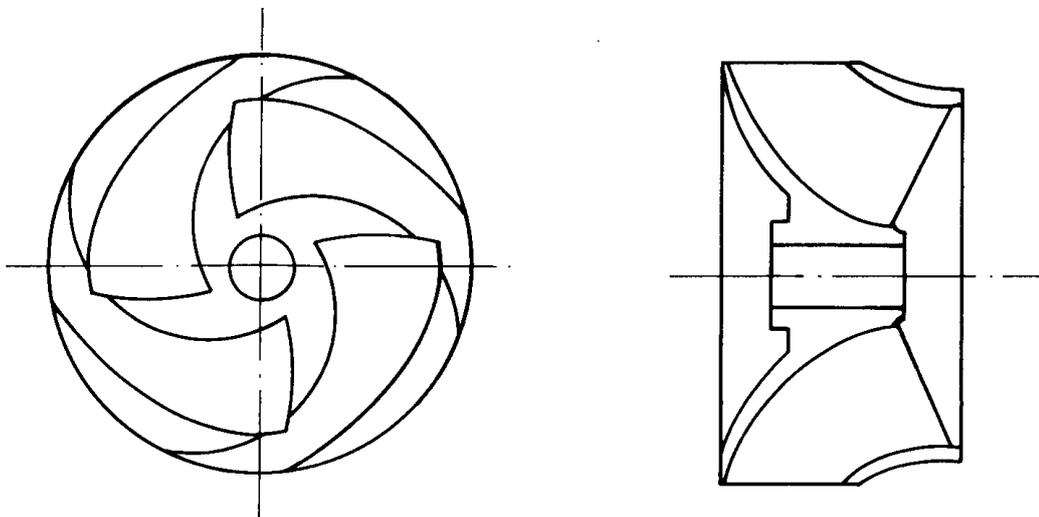


Fig.10

3.1.1.2 CORPO ESPIRAL (OU VOLUTA)

É o componente responsável pela contenção do fluido bombeado bem como, sob certo aspecto, provê oportunidade para a conversão da energia cinética do fluido em energia de pressão, passo fundamental para o bombeamento.

A espiral propriamente dita e o bocal de recalque são separados por uma parede chamada língua da espiral.

Existem as seguintes formas de corpos de bombas com simples estágios:

- Simples espiral

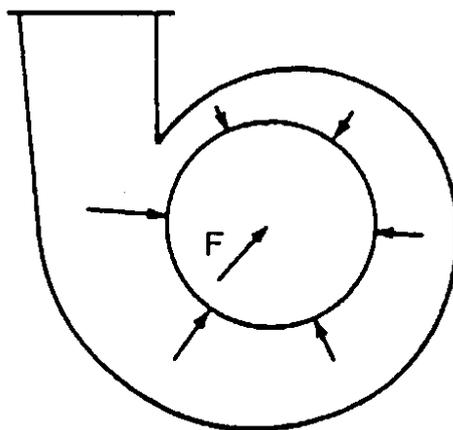


Fig.11

- Dupla espiral

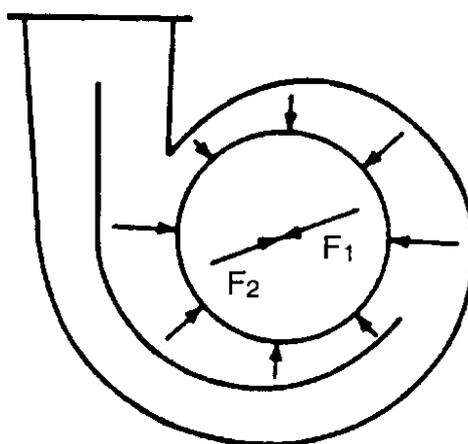


Fig.12

Uma outra classificação de corpos, seria quanto ao seu seccionamento, ou seja:

- Corpo partido axialmente.

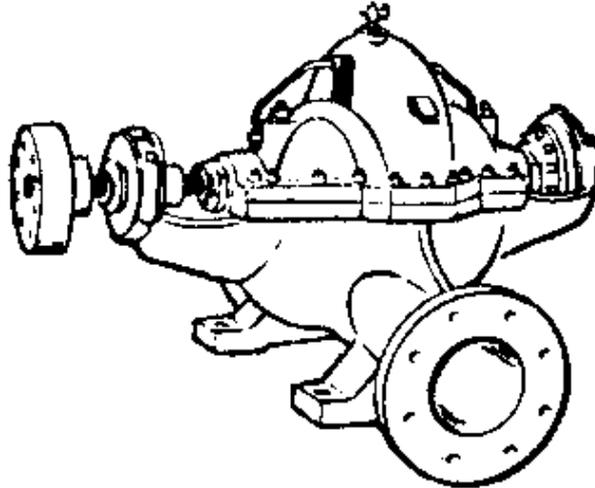


Fig.13

- Corpo partido radialmente

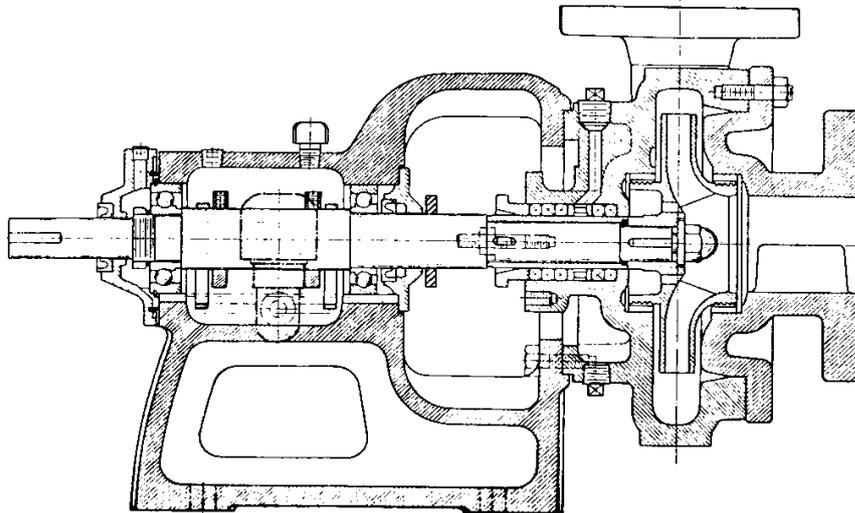


Fig.14

Nota: A vantagem essencial dos corpos bipartidos axialmente é a facilidade de manutenção que pode ser feita com a simples remoção do corpo superior.

– BOCAIS

Os bocais das bombas são executados nas seguintes formas:

- Rosqueados

Normalmente utilizados em instalações de construção civil, bombas para pequenas irrigações, entre outras.

- Flangeados

Normalmente utilizados em instalações industriais, abastecimento de água, médias e grandes irrigações, entre outros.

- Quanto às normas para flanges, consultar tabelas específicas.

- Os flanges serão em princípio determinados de acordo com a pressão e temperatura máxima que podem ocorrer durante a operação.

- Para garantir um bom funcionamento da bomba não podem ser aplicadas forças e/ou momentos da tubulação sobre os bocais da carcaça. Caso não possa ser evitado, o fabricante deve ser consultado sobre os valores máximos admissíveis de forças e momentos que podem ser aplicados.

3.1.1.3 DIFUSOR

São utilizados principalmente em bombas de múltiplos estágios com rotores radiais, assim como também em bombas verticais com rotores semi-axiais ou axiais. Neste último caso o difusor assume também a função de carcaça sendo parte integrante da mesma. Difusores de bombas de múltiplos estágios são montados nos corpos dos estágios sendo fixados axial e radialmente visando, inclusive, impedir a ocorrência de giro dos mesmos.

3.1.1.4 EIXO

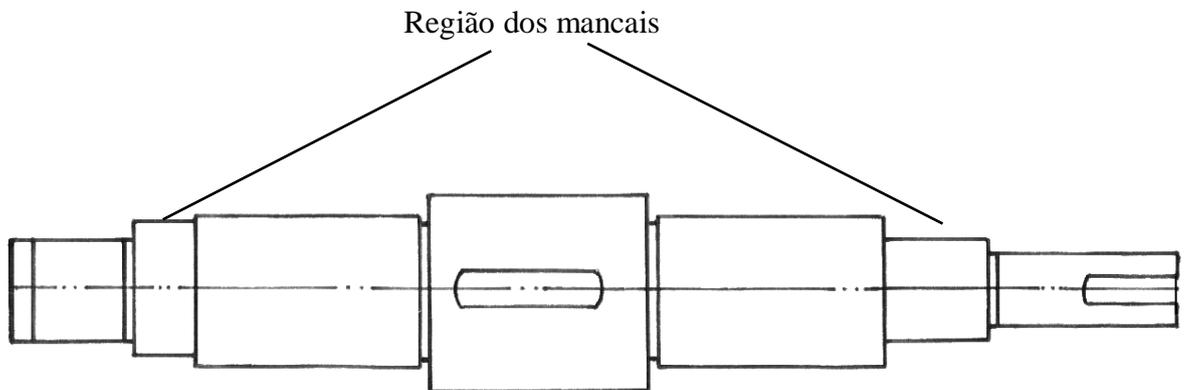
Transmite o torque do acionador ao rotor. O eixo é projetado para que tenha uma deflexão máxima preestabelecida quando em operação. Este fator é importante para evitar que as folgas entre as peças rotativas e as estacionárias se alterem em operação, o que provocaria seu contato, desgaste prematuro e maior consumo de energia.

O eixo deve ser construído em material que suporte as variações de temperatura, quando para aplicações que envolvam líquidos quentes, bem como fadiga devido às cargas alternativas que surgem em operação.

Também por questões de vida útil de selo mecânico, a deflexão do eixo na face da caixa de vedação não deve ser superior à limites definidos em NORMAS e recomendações dos fabricantes de selos mecânicos.

O ponto mais importante à considerar no projeto de eixos é a velocidade crítica, que é a rotação na qual um pequeno desbalanceamento no eixo ou no rotor são ampliados de tal forma que sob a força centrífuga provoca deflexão e vibração.

Eixos suportados nos dois extremos, que possuem o rotor no centro, têm o diâmetro máximo no local de montagem do rotor. Eixos de bombas com rotor em balanço têm o diâmetro máximo entre os rolamentos. A ponta do eixo é projetada para resistir ao máximo torque que pode ocorrer em trabalho.



Eixo típico de bomba de dupla sucção, apoiado em ambos os lados do rotor.

Fig.15

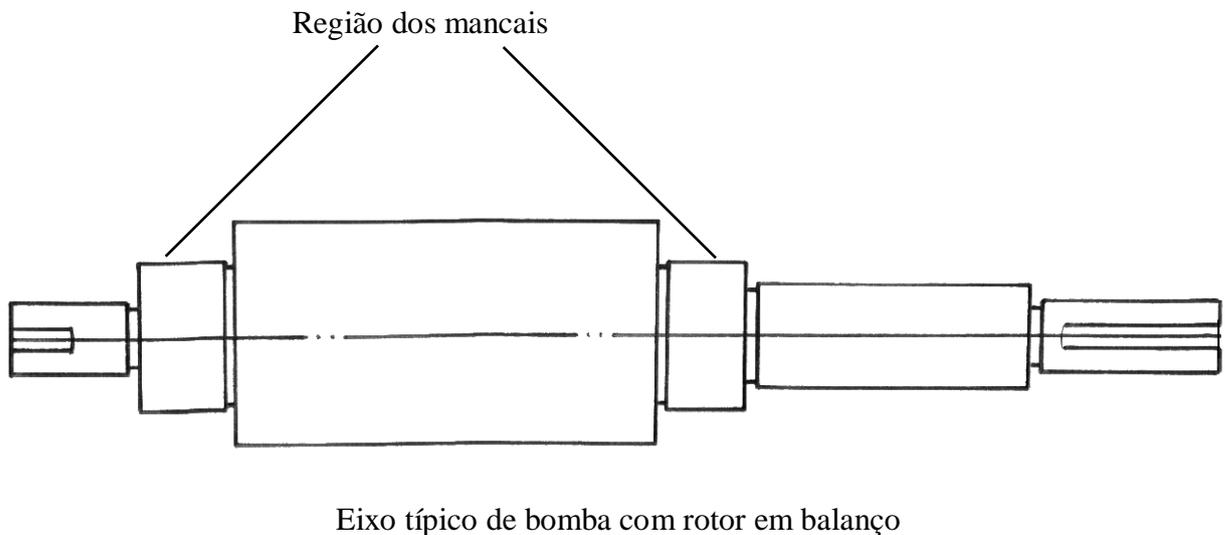


Fig.16

Dependendo do tipo de projeto das bombas, estas possuem eixos vedados e não vedados.

Eixos vedados garantem que o líquido bombeado não entre em contato com o eixo. Isso é conseguido por meio de vedações entre as peças montadas no eixo.

Eixo não vedados têm contato com o líquido bombeado.

Na seleção do material do eixo, deve ser considerado que, para líquidos corrosivos, os eixos não vedados devem ser construídos em materiais resistentes à corrosão; porém, os eixos vedados podem ser fornecidos em aço carbono e luva protetora do eixo com material resistente a corrosão.

3.1.1.5 LUVA PROTETORA DO EIXO

Tem a função de proteger o eixo contra corrosão, erosão e desgaste pelo líquido bombeado. Além disso deve proteger o eixo na região das gaxetas contra o desgaste que pode ser causado pela abrasividade desta vedação.

A luva protetora do eixo gira com o eixo e é fixada axialmente.

3.1.1.6 ANÉIS DE DESGASTE

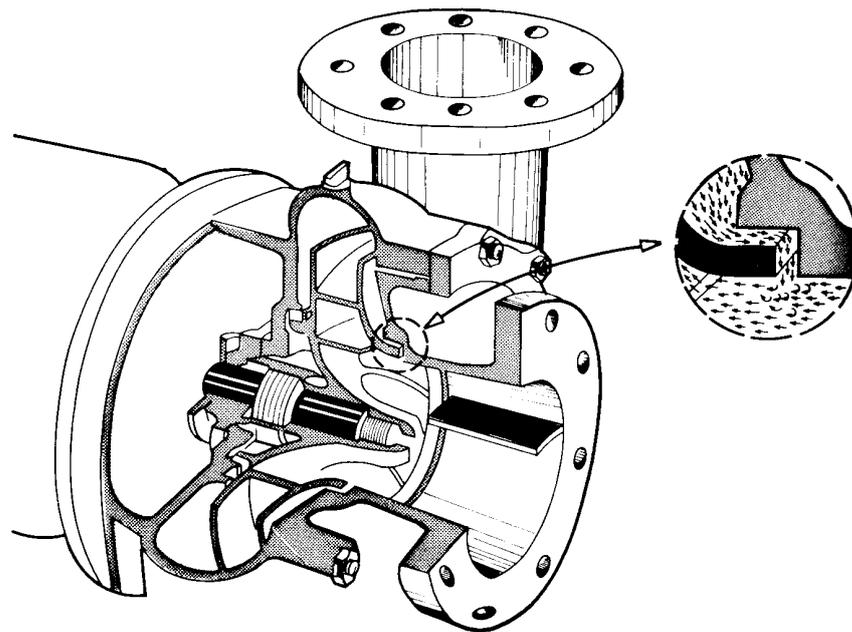
São peças montadas só na carcaça (estacionário), só no rotor (girante) ou em ambos e que, mediante pequena folga operacional fazem a separação entre as regiões onde

imperam as pressões de descarga e sucção, impedindo assim um retorno exagerado de líquido da descarga para a sucção.

Os anéis são peças de pequeno custo e que evitam o desgaste e a necessidade de substituição de peças mais caras, como rotor ou a carcaça.

Bombas seriadas para serviços leves não possuem anéis de desgaste. A própria carcaça e o rotor possuem superfícies ajustadas de tal forma que a folga entre estas peças é pequena. Quando a folga aumenta, pode-se reusinar o rotor ou a carcaça e colocar os anéis refazendo assim as folgas originais.

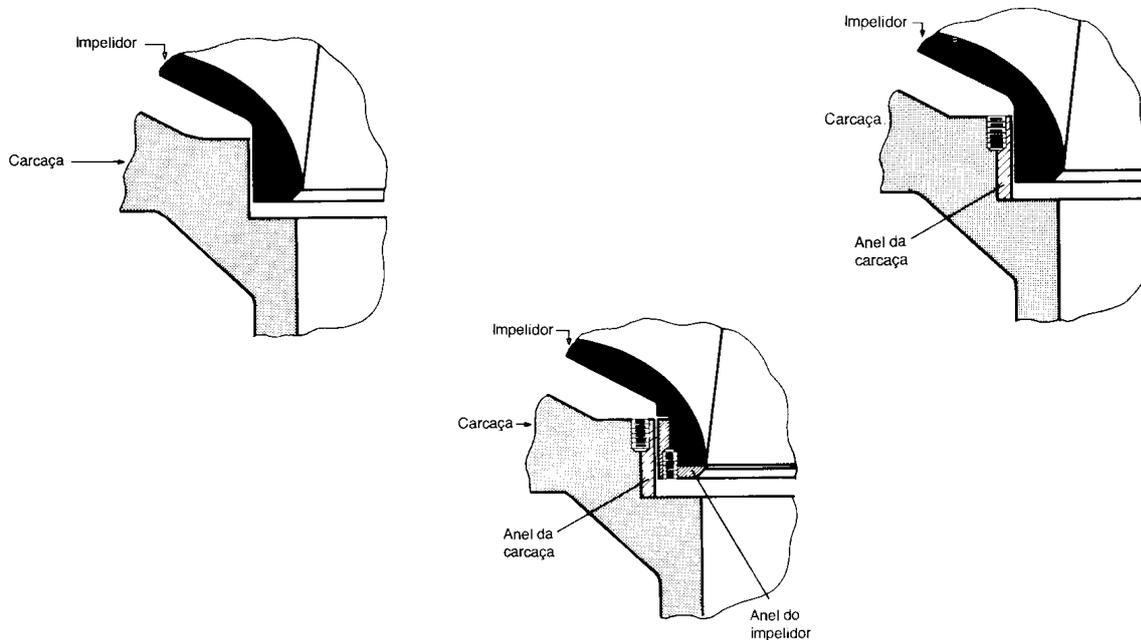
Em bombas de maior porte, tanto a carcaça e/ou o rotor são providos com anéis de desgaste. Os anéis são substituídos quando a folga diametral excede os limites definidos nos manuais de serviços do fabricante. Deve-se ressaltar que, conforme se aumenta a folga diametral dos anéis de desgaste, nota-se uma redução na eficiência da bomba (o retorno de líquido da descarga para a sucção aumenta), ou seja, uma recirculação de fluido em direção à sucção, conforme ilustra a figura abaixo.



Recirculação de líquido pela folga entre o rotor e a carcaça

Fig.17

O tipo de execução do anel de desgaste depende do projeto da bomba e do líquido bombeado.



Anéis de desgaste renováveis

Fig.18

No bombeamento de líquidos com abrasivos em suspensão, poderão ser executadas placas de desgaste, com dispositivo de lavagem com líquido limpo de fonte externa.

A montagem dos anéis de desgaste e sua fixação no local pode ser feita por pino, montagem por interferência, fixação por parafuso ou solda, dependendo do projeto da bomba. Algumas normas de construção indicam que, além de interferência, é necessária a fixação por solda; isto geralmente ocorre onde aplicações à altas temperaturas estão envolvidas, para evitar que a dilatação solte o anel.

3.1.1.7 SISTEMA DE VEDAÇÃO

É o sistema que tem por função, evitar o vazamento do fluido, que está sendo bombeado, para o meio ambiente ou mesmo para outras regiões da bomba (motor elétrico, por exemplo).

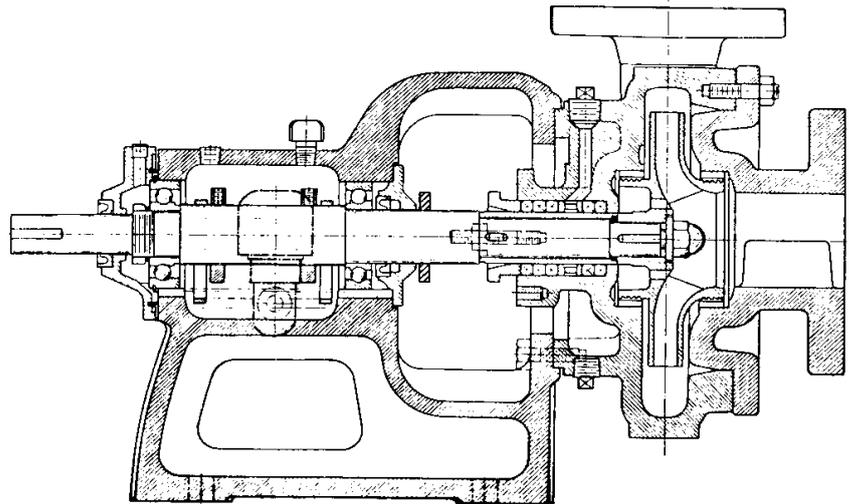
Alguns fluidos, por serem tóxicos, inflamáveis ou caros, recebem sistemas especiais de vedação ou de selagem.

Nota: Este assunto será objeto de estudo em selos mecânicos e elementos de vedação.

3.1.1.8 SUPORTE E CAVALETE DE MANCAL

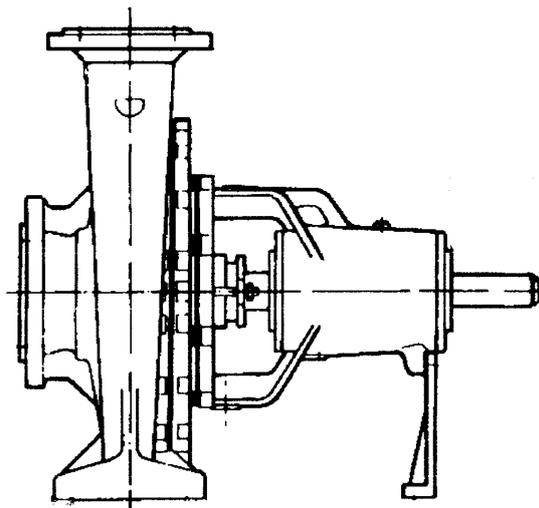
De acordo com a conformação da carcaça, há necessidade de um suporte ou cavalete para melhor sustentação do rotor em balanço.

- Exemplo de cavalete do mancal



Cavalete de Mancal
Fig.19

- Exemplo de suporte de mancal



Suporte de Mancal
Fig.20

- As bombas de simples estágio com suporte de mancal, são normalmente do tipo “back-pull-out”, isso significa que o suporte do mancal junto com o rotor são desmontáveis para trás, sem remover a carcaça da bomba (que possui pés próprios) no lugar da instalação. A vantagem é a fácil desmontagem da bomba para manutenção, sem perder o alinhamento da voluta com as tubulações.
- Bombas de simples estágio com cavalete de mancal têm, para os tamanhos menores e médios, normalmente o apoio da bomba só no cavalete do mancal e não permitem a desmontagem do cavalete mais o rotor sem tirar a bomba inteira do lugar da instalação.
- Vantagem: robustez e acionamento por correias e polias diretamente na ponta do eixo da bomba.
- Bombas de múltiplos estágios ou bombas bipartidas possuem suportes de mancais nos dois extremos da bomba.

3.1.1.9 MANCAIS

Têm a função de suportar o peso do conjunto girante, forças radiais e axiais do rotor que ocorrem durante a operação.

Bombas de construção horizontal possuem normalmente mancais de rolamento para suportar forças radiais e axiais.

Nota: Este assunto será objeto de estudo em capítulo próprio. (Rolamentos).

3.1.2 PERDAS INTERNAS

As perdas causadas por: atritos e turbulência no rotor, mudanças de direção, espessuras das pás e transformação da “velocidade” em “pressão”, são proporcionais aproximadamente ao quadrado da velocidade e portanto da descarga.

Na “condição” de descarga normal, que é a situação de melhor rendimento da bomba, as perdas por choques na entrada do rotor e do difusor, devido à não concordância das direções das velocidades relativas com as pás, têm valor muito pequeno, porém, esta situação agrava-se quando a bomba trabalhando à uma velocidade constante, fornece uma descarga diferente daquela para a qual foi projetada.

Fugas (não confundir com vazamento) do líquido nos interstícios, labirintos e espaços entre o rotor e o difusor e coletor.

Estes são alguns motivos das diferenças entre as retas teóricas e as curvas reais.

– Retas teóricas e curvas reais

- Rising.

Se os valores de H crescem, quando os de Q decrescem, a curva é sempre descendente.

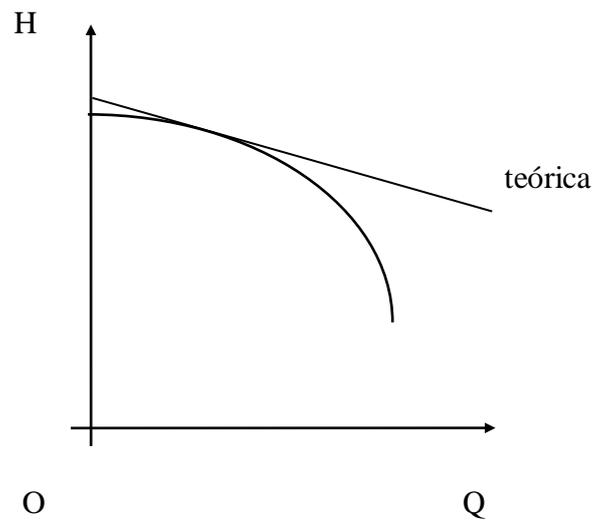


Fig.21

- Flat

Se H variar pouco com Q

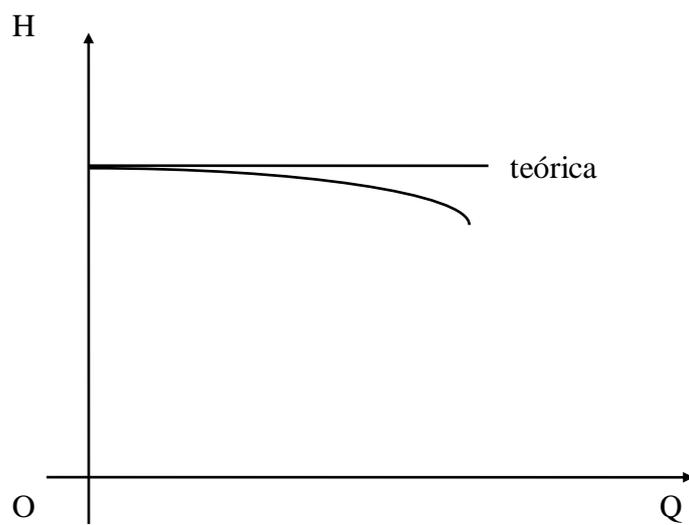


Fig.22

- Drooping

Quando a curva tem um ramo ascendente e outro descendente.

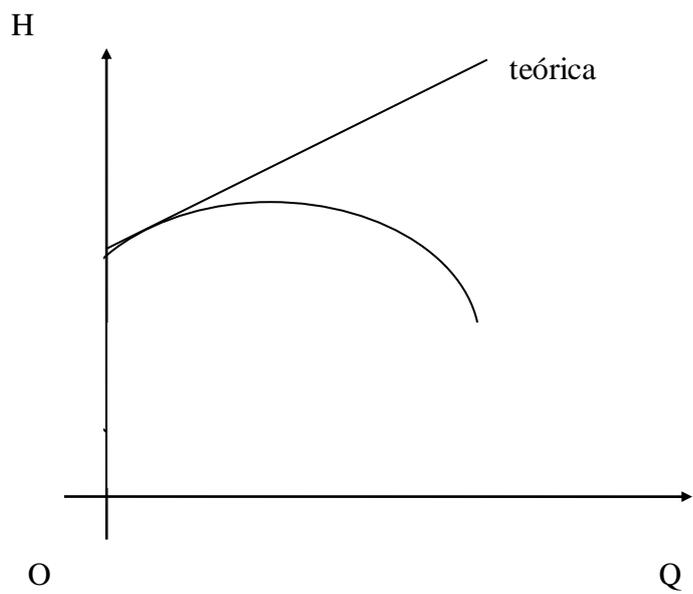


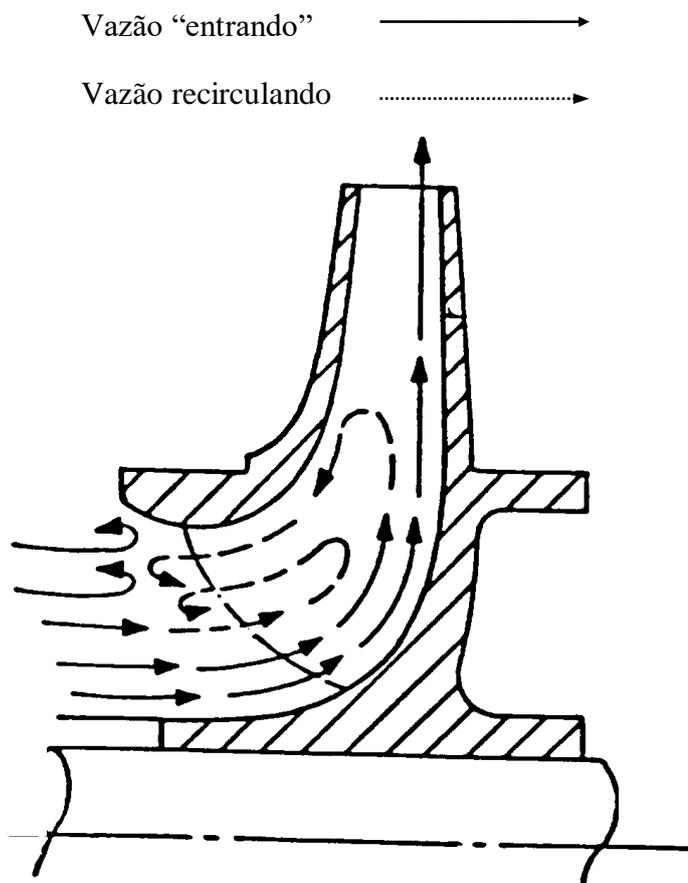
Fig.23

3.1.3 RECIRCULAÇÃO HIDRÁULICA

As bombas de porte médio e grande que possuam rotores largos e operam com vazões reduzidas, podem ficar sujeitas ao problema de recirculação hidráulica.

As conseqüências são: ruído excessivo e vibrações. Desta forma deve-se evitar a operação com limites inferiores ao da vazão mínima indicada pelo fabricante.

A figura a seguir mostra esquematicamente o fenômeno citado.



Corte de um rotor indicando esquematicamente a recirculação do líquido na entrada de um rotor, operando com vazões reduzidas.

Fig.24

3.1.4 CAVITAÇÃO EM BOMBAS CENTRÍFUGAS

Toda bomba centrífuga requer em sua entrada (sucção) uma pressão suficiente, para garantir o seu bom funcionamento.

Caso esta pressão seja demasiadamente baixa, atingindo a pressão de vapor àquela temperatura, haverá uma intensa formação de vapor. As bolhas de vapor assim formadas são conduzidas pelo fluxo de líquido até atingir pressões mais elevadas (normalmente na região do rotor), onde então ocorre a implosão (colapso) destas bolhas, com a condensação do vapor e o retorno ao estado líquido. Tal fenômeno é conhecido como cavitação.

O colapso destas bolhas ocorre em regiões de pressão bastante elevada, as quais causam a retirada de material da superfície (pitting) onde ocorrem as implosões. Normalmente este fenômeno é acompanhado de vibrações e de um ruído característico, similar à um misturador de concreto. Deve-se notar que a erosão por cavitação não se verifica no lugar onde as bolhas se formam, mas sim onde estas implodem.

Os efeitos de cavitação dependem do tempo de duração, intensidade de cavitação, propriedade do líquido e resistência do material à erosão por cavitação.

A cavitação poderá ocorrer em maior ou menor intensidade. Quando ocorrer cavitação de pequena intensidade seus efeitos serão muitas vezes imperceptíveis, ou seja, não se notarão alterações nas características de performance da bomba, nem ruído e vibrações. Com o aumento de intensidade desta, estes efeitos passarão a ser perceptíveis através de ruído característico e influência na performance da bomba por meio de redução na altura manométrica total e no rendimento. Com a cavitação de grande intensidade, além dos efeitos terem maior amplitude, poderão ser causadas vibrações as quais irão comprometer o comportamento mecânico da bomba.

Os danos provocados por cavitação em uma bomba centrífuga, normalmente ocorrem no rotor, podendo também ocorrer nos corpos ou difusores. Geralmente os pontos atacados no rotor estão situados na parte frontal da pá.

Várias explicações têm sido apresentadas para esclarecer esta ação destruidora. Admitem alguns que a alteração periódica e rapidíssima das pressões possa concorrer para o enfraquecimento da estrutura dos cristais dos materiais. Outros supõe que, devida à percussão das partículas condensadas, com uma frequência de vários milhares de ciclos por segundo, possam ocorrer, em pontos pequeníssimos da superfície, temperaturas elevadas que reduziriam a resistência dos cristais, podendo então as pressões de colapso das bolhas serem suficientes para desagregar partículas do material.

As regiões atingidas não são aquelas em que as pressões são menores, isto é, no dorso das pás, e sim aquelas em que se produziram condensação das partículas de vapor.

Quando a condensação se processa a jusante das pás, na própria boca de entrada ou no tubo de aspiração, o fenômeno é chamado de “supercavitação” e, em geral, se origina

de um fluxo em sentido inverso na sucção, devido a deficiência de projeto ou de instalação.

Além de provocar erosão, desgastando, removendo partículas e destruindo pedaços dos rotores e dos tubos de aspiração junto à entrada da bomba, a cavitação se apresenta, produzindo: Queda de rendimento (no início da cavitação o rendimento melhora um pouco; aumentando a cavitação, este cai bruscamente)

3.1.4.1 MATERIAIS RESISTENTES À CAVITAÇÃO

Vimos anteriormente que o colapso das bolhas de vapor ocorre em regiões de pressões bastante elevadas, causando a retirada do material da superfície (pitting) onde ocorrem as implosões.

Os efeitos de cavitação dependem do tempo de duração, intensidade da cavitação, propriedade do líquido e resistência do material à erosão por cavitação.

A escolha do material a ser empregado na fabricação da bomba é da maior importância. Alguns materiais, na ordem crescente de sua capacidade de resistir à erosão por cavitação, são: ferro fundido, alumínio, bronze, aço fundido, bronze fosforoso, bronze-manganês, aço-níquel, aço-cromo e ligas de aço inoxidável. A rigor não há nenhum material conhecido que não seja afetado pela cavitação.

Mais complexos tornam-se os processos de desgaste por cavitação quando o líquido bombeado for agressivo.

A resistência de materiais à erosão por cavitação é determinada em ensaios de laboratórios, quando os corpos de prova, pesados inicialmente, são colocados num difusor onde se medem a pressão e a velocidade da água. Decorrido certo tempo, mede-se a perda de material por diferença na pesagem do corpo de prova. Esta perda define a resistência ao desgaste por cavitação.

Ensaaiando-se diversas ligas e fixando o valor 1,0 como perda de material para o ferro fundido, foram obtidas as graduações abaixo, na ordem crescente de resistência ao desgaste por cavitação:

Ferro fundido	1,0
Bronze	0,5
Aço-Cromo	0,2
Liga de Bronze-Alumínio	0,1
Aço Cromo-Níquel	0,05

3.1.4.2 INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS

Quanto às características mecânicas, aumentam a resistência à cavitação os seguintes fatores:

- Maior dureza
- Maior tenacidade
- Maior ductilidade
- Existência de tensões residuais de compressão.

Por outro lado, as seguintes características reduzem a resistência:

- Baixa dureza
- Fragilidade
- Baixa ductilidade
- Existência de tensões residuais de tração.

Apesar de instalarmos corretamente um sistema de bombeamento, é possível o surgimento de cavitação. Quando isto ocorre, estaremos enfrentando a cavitação em condições anormais de operação.

Entre os motivos que merecem apreciação, temos:

- Distúrbios ou bloqueios parciais na linha de sucção ou entrada da bomba;
 - Vazamento excessivo através dos anéis de desgaste;
 - Cavitação na voluta;
 - Cavitação nas pás difusoras;
 - Fluxo em sentido inverso na tubulação de sucção;
 - Efeito de impureza no líquido bombeado.
-

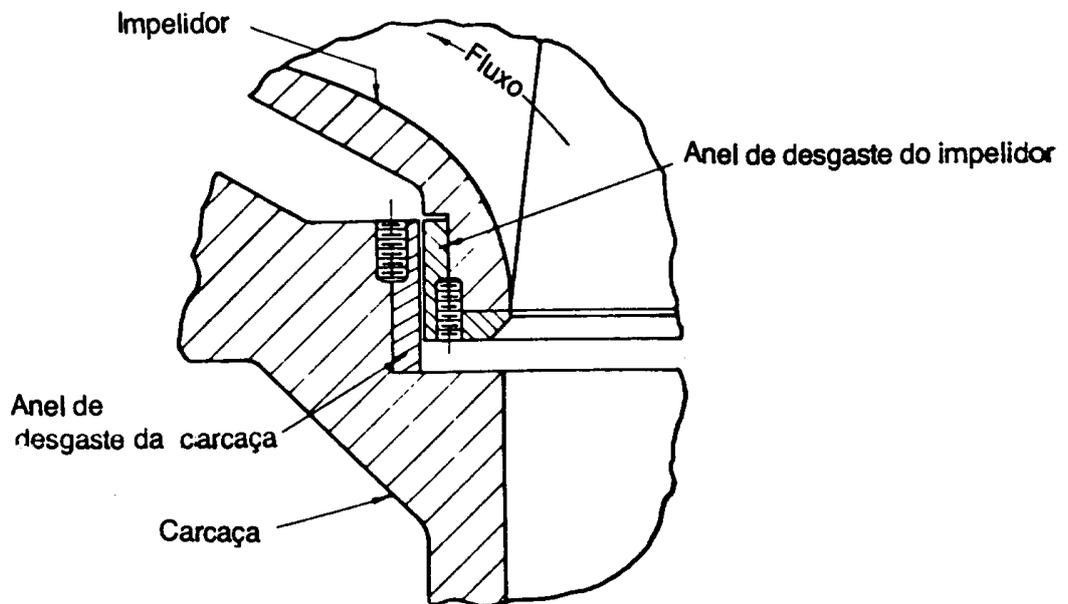
3.1.4.3 DISTÚRBIOS OU BLOQUEIOS PARCIAIS NA LINHA DE SUÇÃO OU ENTRADA DA BOMBA.

Distúrbios ou bloqueios parciais na linha de sucção provocam perda de carga localizada, possibilitando o aparecimento de cavitação. Como exemplo destas condições anormais poderíamos citar o depósito de matérias estranhas na linha de sucção ou no filtro de sucção e o fechamento parcial de válvula na linha de sucção.

3.1.4.4 VAZAMENTO EXCESSIVO ATRAVÉS DOS ANÉIS DE DESGASTE

Com o objetivo de limitar o vazamento entre a descarga do impelidor e a região de baixa pressão na sua entrada, a folga entre o impelidor e a carcaça é mantida sobre controle.

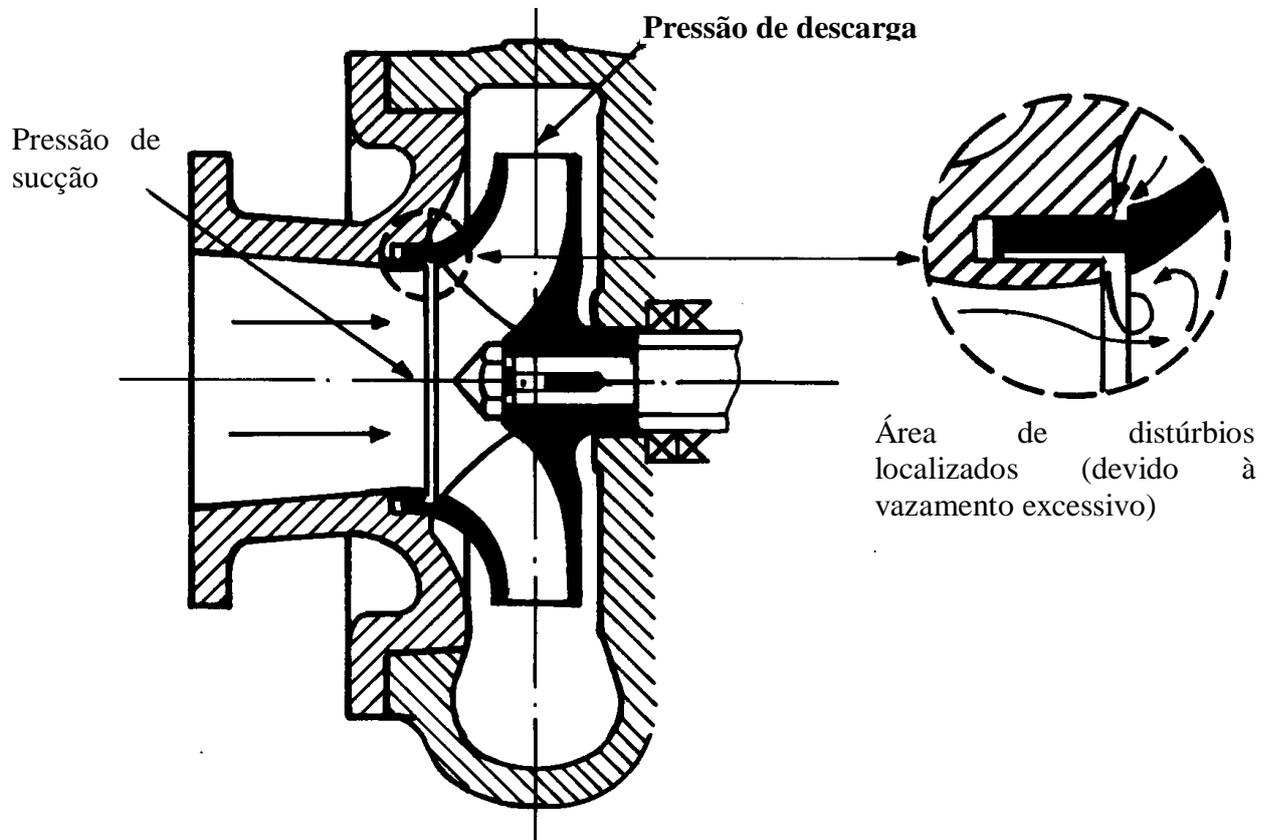
Normalmente, o valor da folga, bem como o trajeto do líquido recirculado da descarga para a sucção, são especificados no projeto de forma a limitar o vazamento e a velocidade de entrada na corrente normal de líquido da sucção.



Anéis de desgaste da carcaça e do impelidor

Fig.25

Em bombas que não possuem anéis de desgaste, a folga é formada pelo adequado ajuste entre o impelidor e a carcaça. Neste caso, seria necessário enchimento por solda e usinagem para recompor a folga original no caso de desgaste proveniente da operação. Em ambas as situações, desde que a folga seja mantida em valores aceitáveis, o efeito da recirculação é desprezível para vazões normais de operação. Entretanto, se por erro de especificação ou manutenção inadequada o valor da folga for inadequado, a recirculação poderá gerar vórtices na entrada da bomba e propiciar o aparecimento de cavitação (ver figura a seguir).

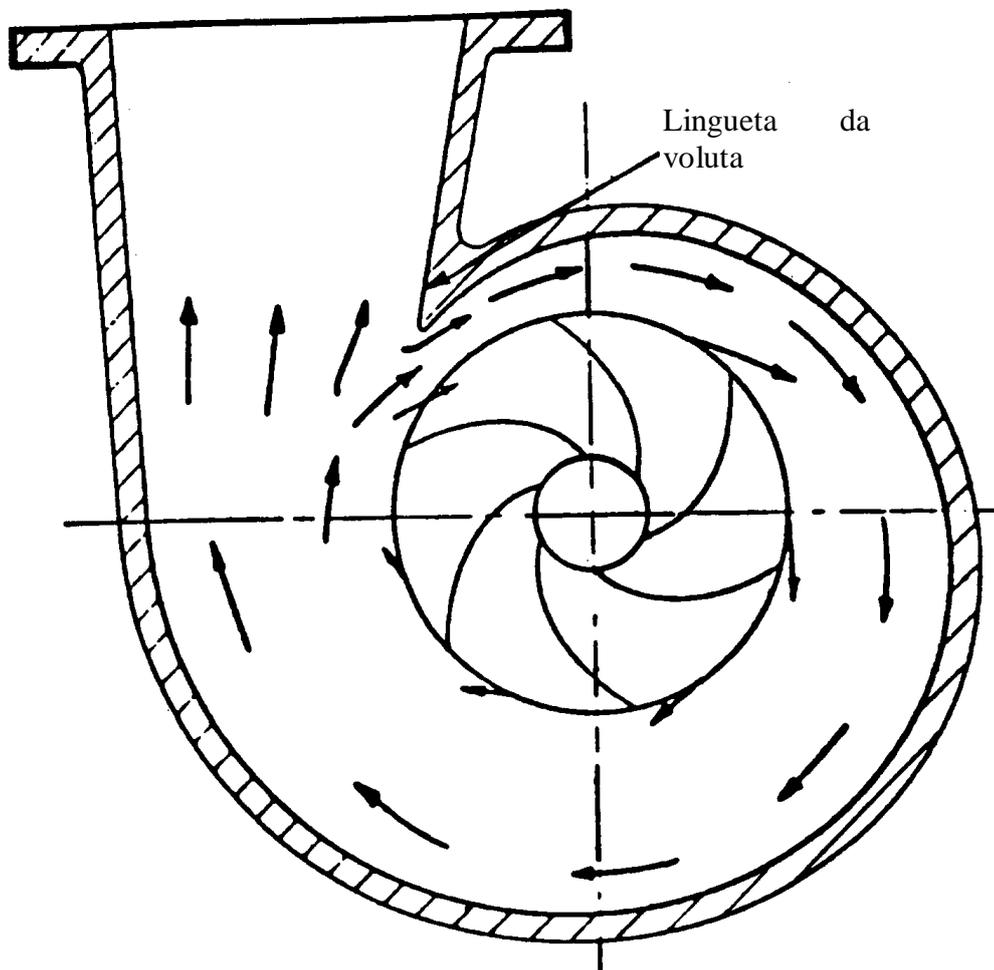


Efeito do jato proveniente de recirculação na entrada da bomba

Fig.26

3.1.4.5 CAVITAÇÃO NA VOLUTA

É realmente difícil imaginar cavitação originada em qualquer parte da voluta pois esta é uma região de alta pressão. Entretanto, chamamos a atenção para a lingüeta da voluta (figura abaixo) que é uma pá guia localizada numa zona de alta velocidade. Portanto, por razões fora da faixa de operação normal, pode realmente acontecer que a turbulência gerada por um angulo de incidência inadequado, propicie oportunidade ao aparecimento de cavitação.

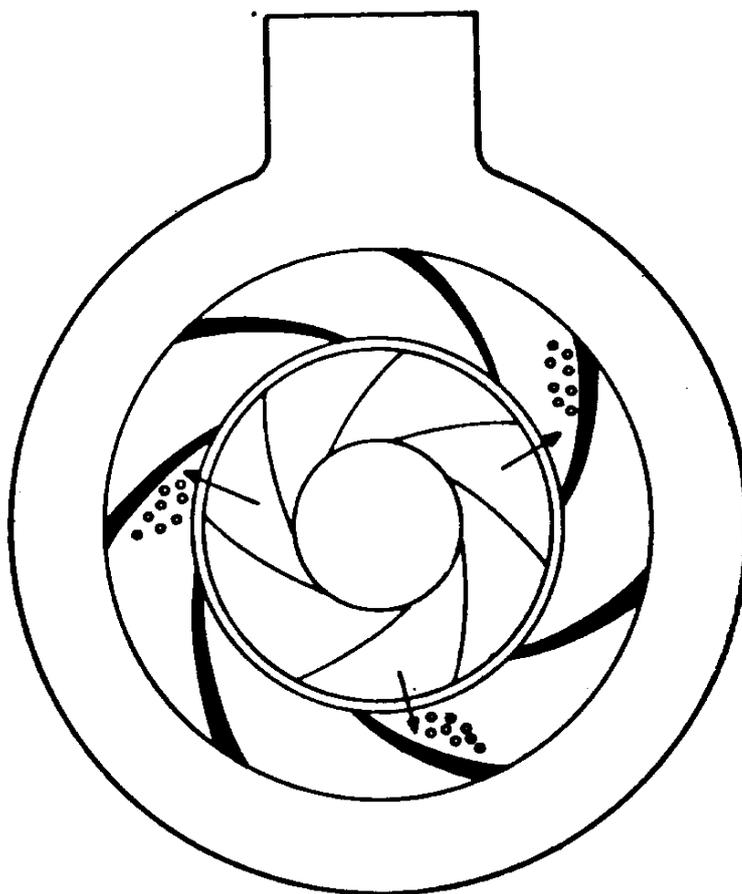


Fluxo na voluta

Fig.27

3.1.4.6 CAVITAÇÃO NAS PÁS DIFUSORAS

Pás difusoras (figura a seguir), podem ser consideradas como uma série de pás guias na saída de impelidor. Desta forma, a possibilidade de cavitação em uma dessas pás é ainda maior que no caso anterior de cavitação na voluta. Isto acontece porque, como mencionado, a perfeita adequação entre a orientação do fluxo saindo dos canais de passagem do impelidor se tornara não uniforme devido a variação da distribuição circunferencial de pressão na descarga do impelidor. Desta forma, fluxos provenientes de diferentes canais de passagem do impelidor podem provocar ângulos de incidência diferentes em uma mesma pá difusora. Ângulos de incidência inadequados podem provocar excessiva turbulência e propiciar oportunidade ao aparecimento da cavitação.

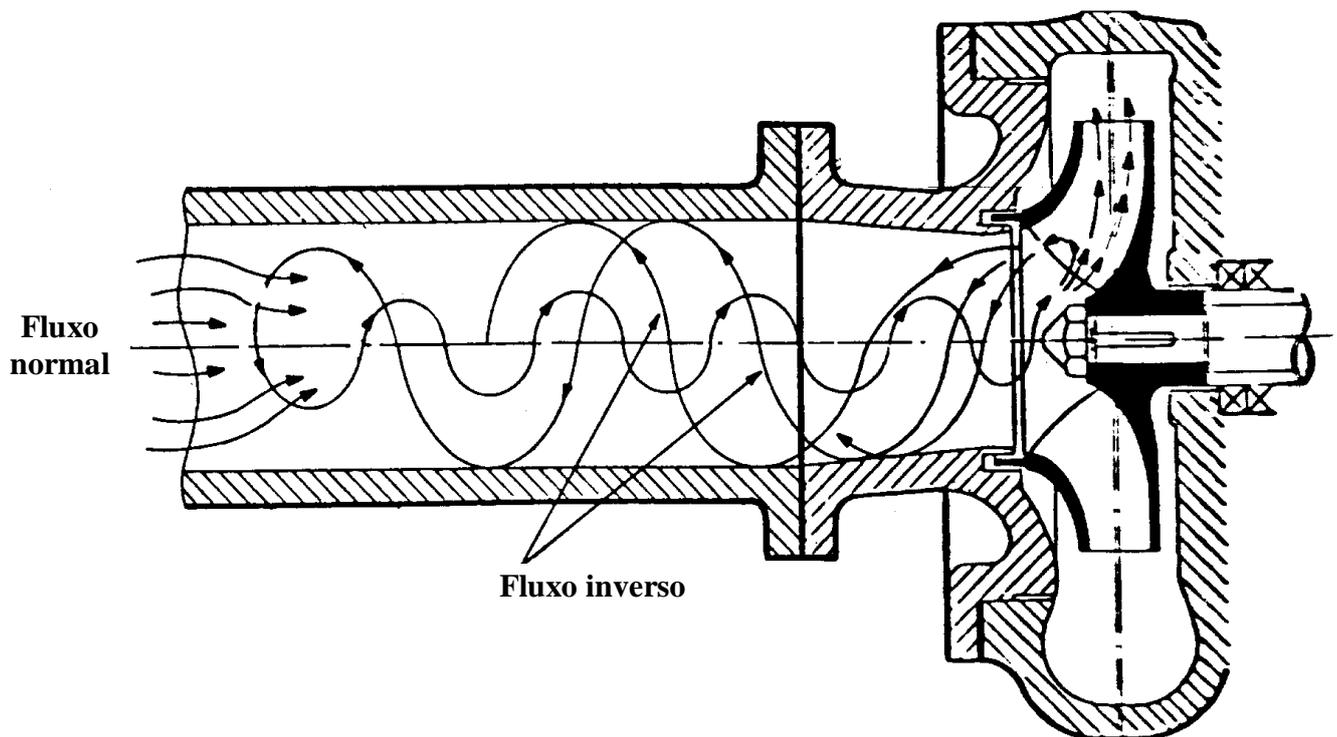


Ângulo de incidência inadequado nas pás difusoras.

Fig.28

3.1.4.7 CAVITAÇÃO POR FLUXO EM SENTIDO INVERSO NA TUBULAÇÃO DE SUCCÃO.

Devido à baixa rotação do impelidor, existe uma tendência, nas bombas, para a criação de um fluxo partindo de entrada do impelidor para fora e superpondo-se ao fluxo principal. Como mencionado esta tendência é marcante em vazão bem abaixo da de projeto, onde o fluxo inverso toma o aspecto ilustrado na figura.



Representação do Fluxo Inverso na Tubulação de Sucção

Fig.29

NOTA:

É bastante lógico que a existência de uma situação como esta acarretaria prejuízo ao funcionamento da sucção, possibilitando o aparecimento de cavitação. Naturalmente procura-se evitar esta hipótese através de adequado dimensionamento da entrada de sucção do impelidor e limitação da vazão mínima de operação. Na realidade é comum do ponto de vista prático, fixar a vazão mínima em 50% da vazão de projeto. Com este procedimento procura-se não só evitar este problema bem como atenuar o empuxo radial e o superaquecimento do fluido devido à operação em baixa eficiência.

3.1.4.8 CAVITAÇÃO DEVIDO À IMPUREZAS NO LÍQUIDO BOMBEADO

Impurezas ou núcleos microscópicos de ar ou gases em geral são os principais responsáveis pela ocorrência de cavitação.

Independente disto, a presença de pequenas frações de componentes leves, não levados em consideração em uma mistura, pode levar à cavitação. Assim sendo, é tremendamente importante a determinação precisa da pressão de vapor para que o cálculo reflita fielmente a realidade, bem como proporcione a adequada margem de segurança entre NPSH disponível e o requerido.

3.1.5 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO O NÚMERO DE ROTORES EMPREGADOS

Temos dois tipos a considerar:

– BOMBAS DE SIMPLES ESTÁGIO

Nela existe apenas um rotor e, portanto, o fornecimento da energia ao líquido é feito em um único estágio (constituído por um rotor e um difusor).

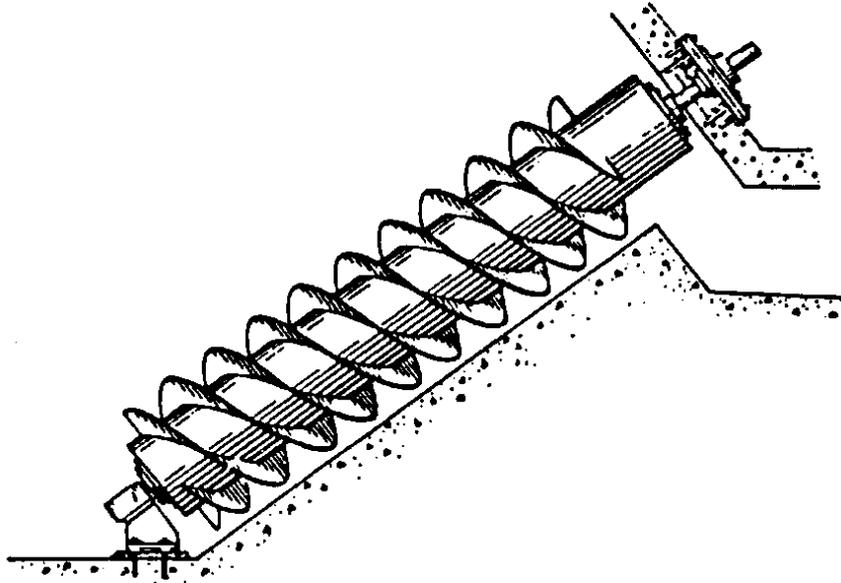
Teoricamente seria possível projetar-se uma bomba com um estágio para quaisquer condições propostas.

Razões óbvias determinadas pelas dimensões excessivas e correspondente custo elevado, além do baixo rendimento, fazem com que os fabricantes não utilizem bombas de um estágio para grandes alturas de elevação. Esse limite pode variar de 50 a 100 m, conforme a bomba, mas há fabricantes que constroem bombas com um só estágio, para alturas bem maiores, usando rotores especiais de elevada rotação, vão de 3600 a 24700 rpm, usando engrenagens para conseguir estas rotações.

– BOMBAS DE MÚLTIPLOS ESTÁGIOS

Quando a altura de elevação é grande, faz-se o líquido passar sucessivamente por dois ou mais rotores fixados ao mesmo eixo e colocados em uma caixa cuja forma permite esse escoamento.

A passagem do líquido em cada rotor e difusor constitui um estágio na operação de bombeamento.



Bomba Parafuso
Fig.30

Vantagens da bomba de parafuso:

- Manutenção simples;
- Permite o bombeamento de materiais espessos e fibrosos, dispensando telas ou grades;
- Alto rendimento, mesmo com carga parcial.

3.1.6 OPERAÇÃO COM AS BOMBAS CENTRÍFUGAS

Vejam os quais os órgãos de uma instalação de bombas; suas finalidades; as recomendações para uma boa instalação; as operações que precedem o funcionamento das bombas; os cuidados durante o funcionamento e as causas dos defeitos que podem apresentar.

– ACIONAMENTO

A grande maioria das bombas é diretamente acionada por motores elétricos, geralmente de corrente alternada, monofásica nas bombas pequenas e trifásica nas demais.

Quando se trata de bombas para instalações sujeitas a variações acentuadas da descarga ou da altura de elevação, pode-se fazer com que a bomba acompanhe as ditas variações modificando-se sua rotação.

Pode-se usar variadores de velocidade hidrodinâmicos, magnéticos, motores de rotor bobinado ou variando a tensão aplicada.

Em instalações em locais onde não existe energia elétrica; nas instalações de emergência ou nas portáteis sobre veículos (por exemplo, nos carros de incêndio), usa-se motor diesel e, nas de pequeno porte, para situações de emergência ou uso eventual, motores à gasolina.

Nas centrais geradoras de vapor, empregam-se bombas que aproveitam o vapor produzido, sejam acopladas a turbogeradores ou acionadas por turbinas à vapor, usando, se necessário, redutores de velocidade.

3.1.6.1 ACESSÓRIOS EMPREGADOS

Numa instalação de bombeamento, são empregados acessórios diversos, entre os quais:

– VÁLVULAS DE PÉ

É uma válvula de retenção, geralmente munida de um crivo, e que é colocada na entrada da tubulação de aspiração com o fim de impedir o esvaziamento da tubulação e da própria bomba, ao ser enchida ou quando pára de funcionar, isto é, com o objetivo de impedir a perda da escorva da bomba. É empregada em tubos de diâmetro inferior a 400 mm. O crivo, colocado antes da válvula, visa evitar a entrada de corpos sólidos ou outros materiais que possam afetar o funcionamento da bomba. Como a perda de carga na válvula de retenção e os problemas que apresenta causam transtornos sérios, procura-se sempre que possível executar a instalação sem ela.

– VÁLVULA DE PURGA

É uma válvula colocada na parte alta da carcaça da bomba destinada a permitir a saída do ar na fase de escorva, a fim de evitar que se forme uma camada de ar na parte superior da bomba. Este ar, emulsionado com a água, poderia eventualmente ocasionar a perda da escorva quando a bomba estivesse funcionando.

– VÁLVULA DE ALÍVIO

Em instalações onde a pressão do “golpe de aríete” é elevada, empregam-se válvulas de alívio instaladas no encanamento após a válvula de retenção. Pelo efeito de sobrepressão, a válvula se abre e descarrega a água para o poço ou reservatório inferior.

3.1.6.2 DISPOSITIVOS DE ESCORVA

Para iniciar o funcionamento de uma bomba é necessário que tanto a bomba quanto o tubo de aspiração sejam previamente enchidos com o líquido. Nas bombas centrífugas comuns pequenas, existe um funil ou copo colocado na parte mais alta da bomba, por onde se despeja o líquido com o qual a bomba irá funcionar.

Em bombas maiores, para apressar e facilitar a operação de escorva, usa-se um by-pass, que é um tubo ligando o encanamento de recalque, acima da válvula de retenção, à bomba. Esse tubo é munido de uma válvula que só é aberto por ocasião da escorva.

O by-pass pode também estar ligado à um reservatório auxiliar, localizado acima da bomba, para permitir seu rápido enchimento.

– ESCORVAS DAS BOMBAS CENTRÍFUGAS

As bombas centrífugas não são auto-aspirantes ou auto-escorvantes, isto é, não são capazes de expulsar o ar, criando o vácuo capaz de permitir a entrada do líquido, no início do funcionamento, quando postas à funcionar, já devem estar cheias de líquidos, e, por conseguinte, também a tubulação de aspiração.

A presença de ar no interior da bomba, por junta mal vedada ou furo no mangote de bombas de remoção de água de valas ou escavação, é denunciada por ruídos e trepidações características. A descarga e a pressão caem imediatamente, podendo a bomba perder a escorva e deixar de recalcar o líquido.

Vejamos alguns exemplos de como realizar a escorva das bombas.

Evidentemente, se a bomba trabalha abaixo do nível livre do reservatório de captação, a escorva se faz automaticamente, bastando abrir a válvula de purga para a saída do ar e fechá-la logo que o líquido comece à sair pela mesma, em jato contínuo.

Na maioria das instalações de bombas pequenas, como acontece nas instalações prediais, existe a válvula de pé para conservar a bomba escorvada. Se ela está funcionando bem, é capaz de manter a bomba cheia de líquido entre cada dois períodos de funcionamento.

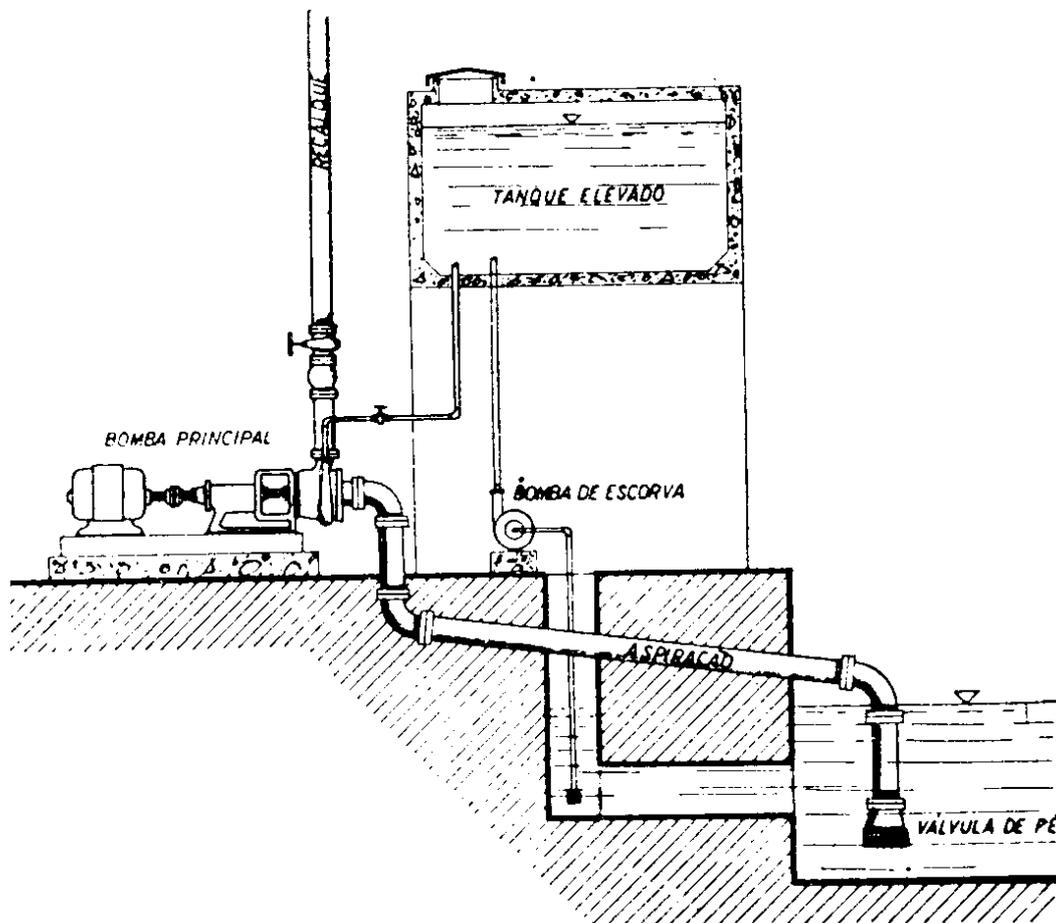


Fig.31

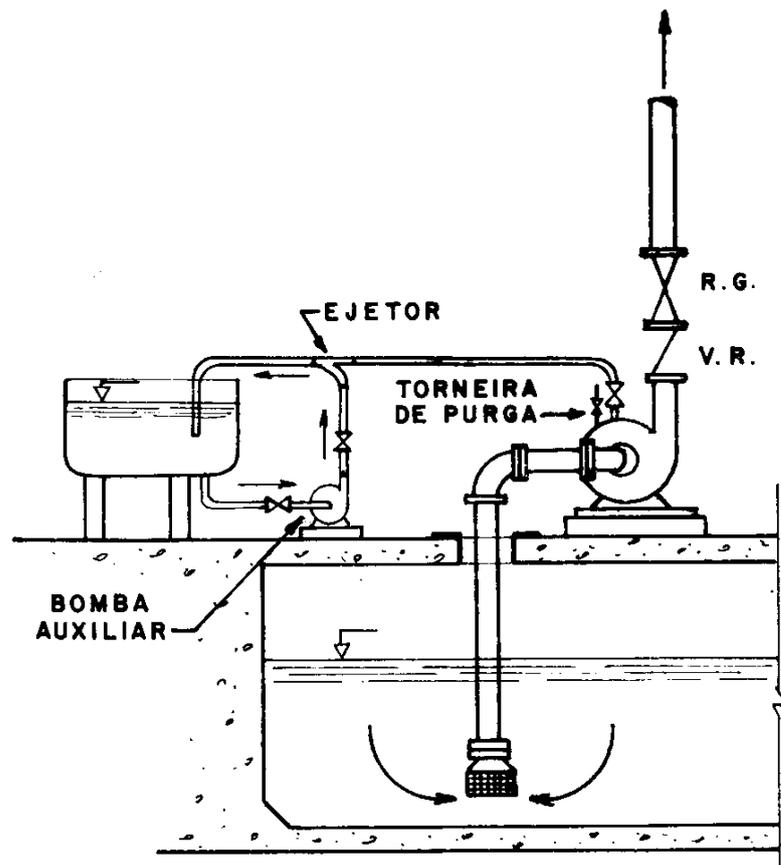
Instalação de uma bomba centrífuga média (120 litros/segundo) com bomba de escorva e tanque elevado.

– ESCORVA POR BOMBA AUXILIAR

Há uma pequena bomba auto-escorvante, de êmbolo ou rotativa, que aspira o líquido do reservatório inferior e o recalca dentro da bomba principal e da tubulação. Esse sistema exige o emprego da válvula de pé, e a bomba auxiliar pode ser até manual em instalações pequenas.

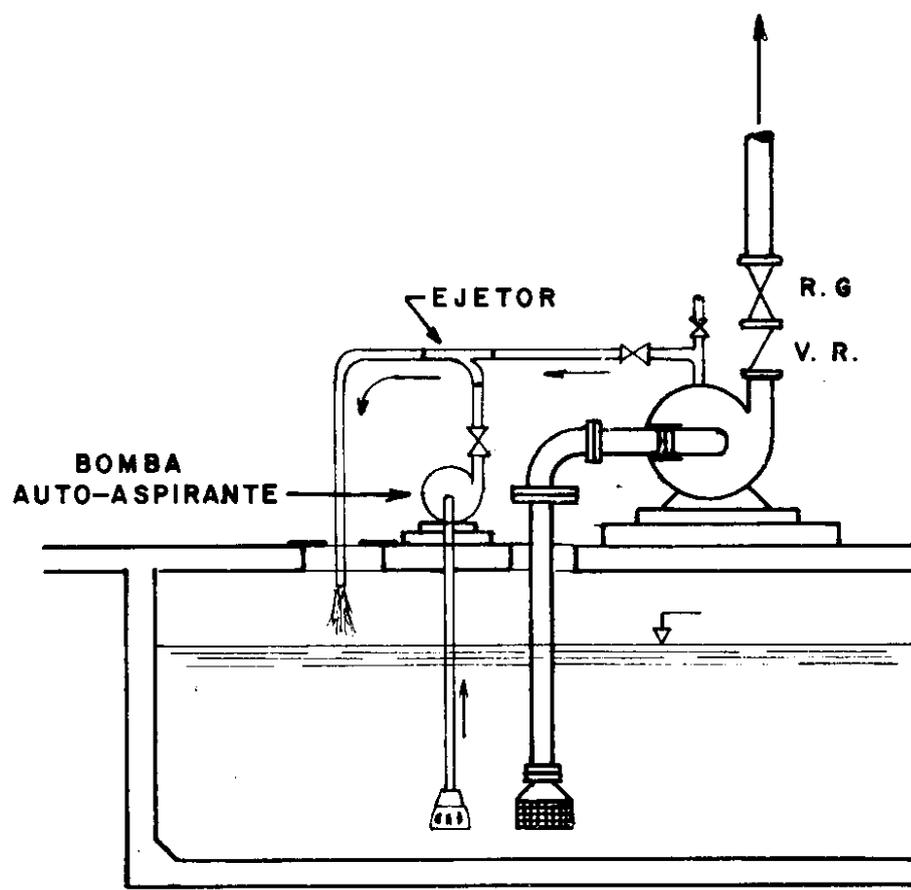
– ESCORVA POR MEIO DE BOMBA AUXILIAR E EJETOR

Utiliza-se uma bomba auxiliar de pequeno porte para operar no circuito de ejeter. Nas figuras apresentadas a seguir, a primeira trata-se de uma bomba centrífuga comum e, a segunda de uma bomba auto-aspirante.



Bomba centrifuga comum com ejetor e depósito auxiliar.

Fig.32



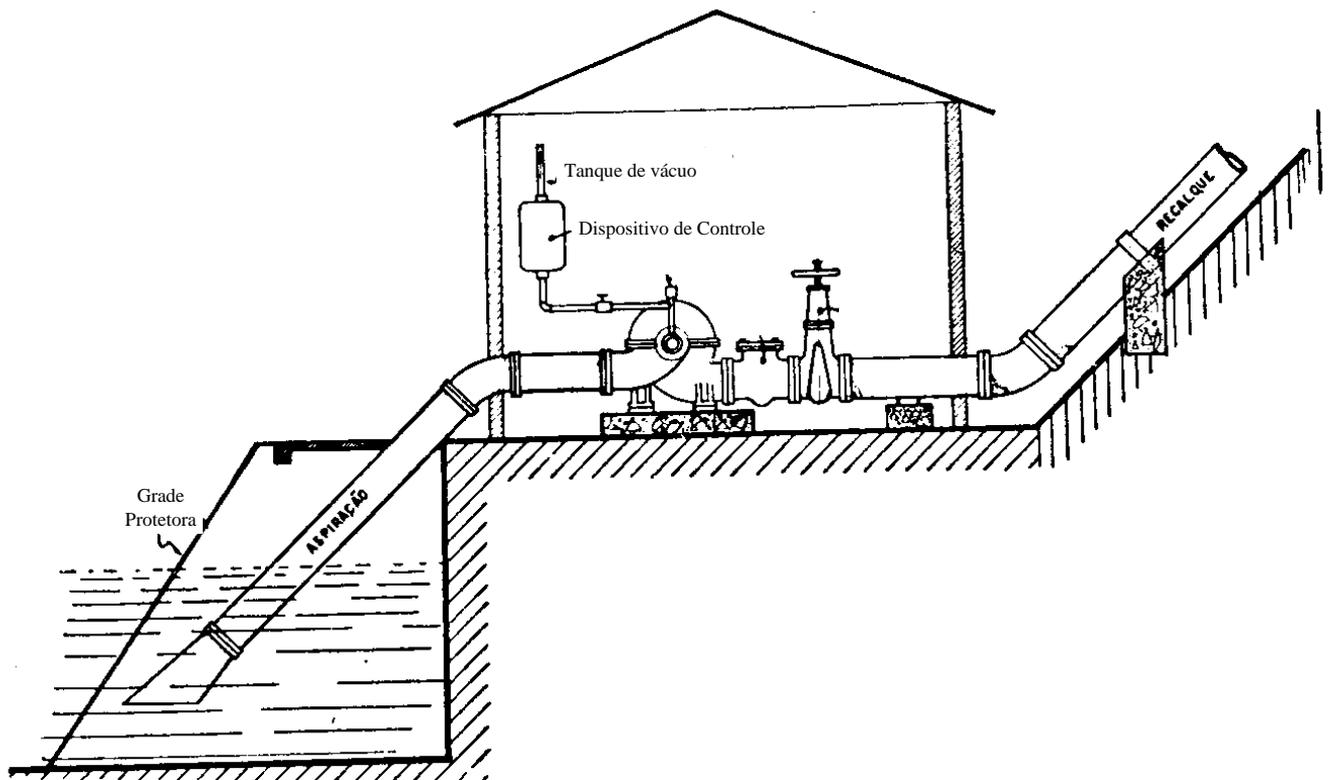
Bomba auto-aspirante

Fig.33

– ESCORVA POR BOMBA DE VÁCUO

É o sistema mais usado para bombas de grande porte. Consiste em extrair o ar existente na bomba e na tubulação de aspiração por meio de uma bomba de vácuo.

Com o vácuo causado pela saída do ar, o líquido flui para dentro da bomba pelo efeito da pressão atmosférica. Costuma-se colocar um reservatório ou tanque de vácuo para evitar a entrada do líquido na bomba de vácuo. Um dispositivo especial, que pode ser um pressostato ou um eletrodo colocado no tanque, desliga a bomba de vácuo quando a escorva da bomba estiver completa. A figura a seguir mostra uma instalação de grande porte, utilizando bomba de vácuo e tanque de vácuo.



Instalação de uma grande bomba centrífuga (600 litros/segundos), escorvada com bomba de vácuo.

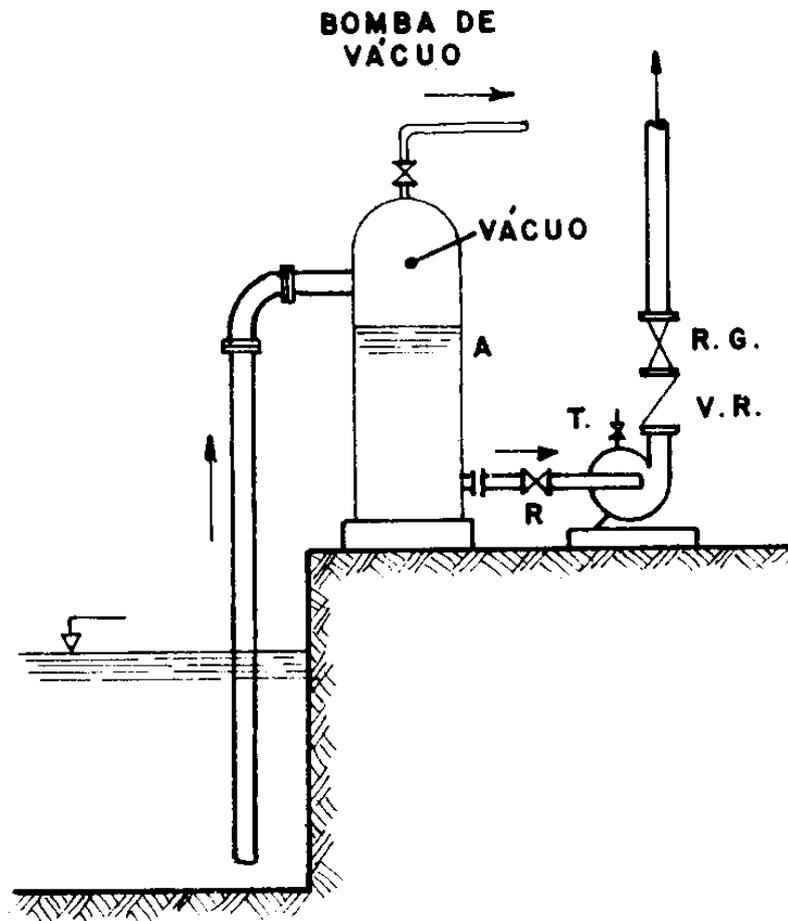
Fig.34

Outra maneira de utilização da bomba de vácuo está indicado na figura a seguir. A bomba de vácuo produz a rarefação na câmara ou reservatório (A), de modo que a água submetida à pressão atmosférica nele penetre. Uma bóia ou um eletrodo, colocado no reservatório, faz a bomba de vácuo desligar logo que o nível desejado é atingido.

Abrindo-se a válvula-1 e a válvula-2, escorva-se a bomba.

As bombas de vácuo empregadas podem ser do tipo de palhetas giratórias, de lóbulos, de anel de água ou de outro tipo.

Algumas turbobombas possuem uma pequena bomba de vácuo adaptada na estrutura da bomba e que funciona automaticamente, quando a bomba principal pára por perda de escorva.



Bombas com câmara de vácuo

Fig.35

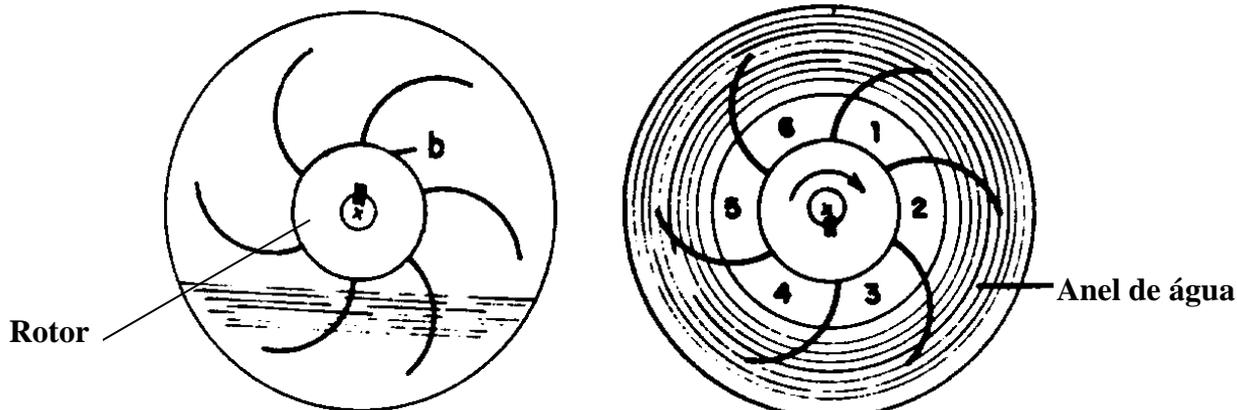
3.1.6.3 BOMBAS CENTRÍFUGAS AUTO-ESCORVANTES OU AUTO-ASPIRANTES

Sabemos que uma bomba não conseguindo pelo movimento das pás remover suficientemente o ar contido em seu interior, não consegue criar o vácuo necessário para que o líquido submetido a uma pressão superior escoe para o interior da bomba.

Há, entretanto, diversos tipos de bombas que se pode utilizar pelas características especiais que possuem.

– BOMBAS DE ANEL DE ÁGUA EXCÊNTRICO

Se um rotor (b), com pás curvas para frente, gira dentro de um cilindro cheio de água, forma-se, em virtude da força centrífuga, um anel de água concêntrico com o eixo, e haverá, entre as pás, espaços vazios iguais (1 a 6). Ver figuras abaixo



Rotor Parado

Fig.36

Rotor concêntrico em movimento

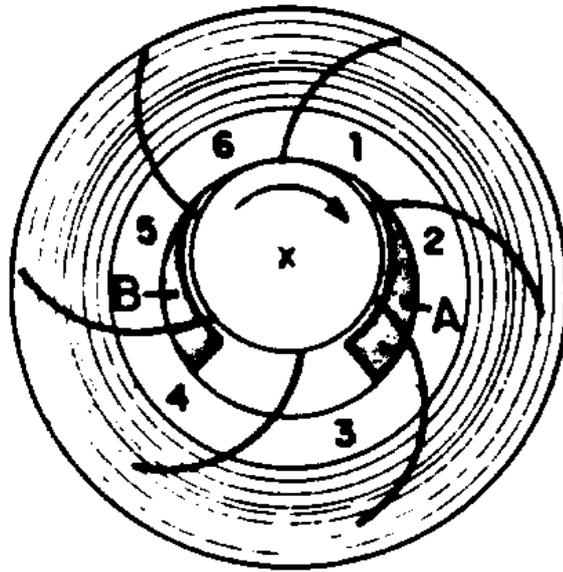
Fig.37

Se o rotor, porém, for excêntrico, o volume dos espaços vazios (1 a 6) variará, de modo que a partir da parte superior do rotor, segundo diâmetro vertical, o referido volume aumenta de 1 até 3, produzindo-se um efeito de aspiração do ar que penetra pela abertura A, enquanto que, na Outra metade, se produz um efeito de compressão e uma descarga do ar pela abertura (B) de recalque.

É indispensável que as superfícies laterais do rotor se ajustem bem contra as paredes laterais do corpo da bomba, nas quais se encontram as aberturas de aspiração e recalque, a fim de que não ocorram grandes perdas por fugas.

Há bombas com aberturas de aspiração e recalque dos dois lados, para encher mais rapidamente os espaços entre as pás.

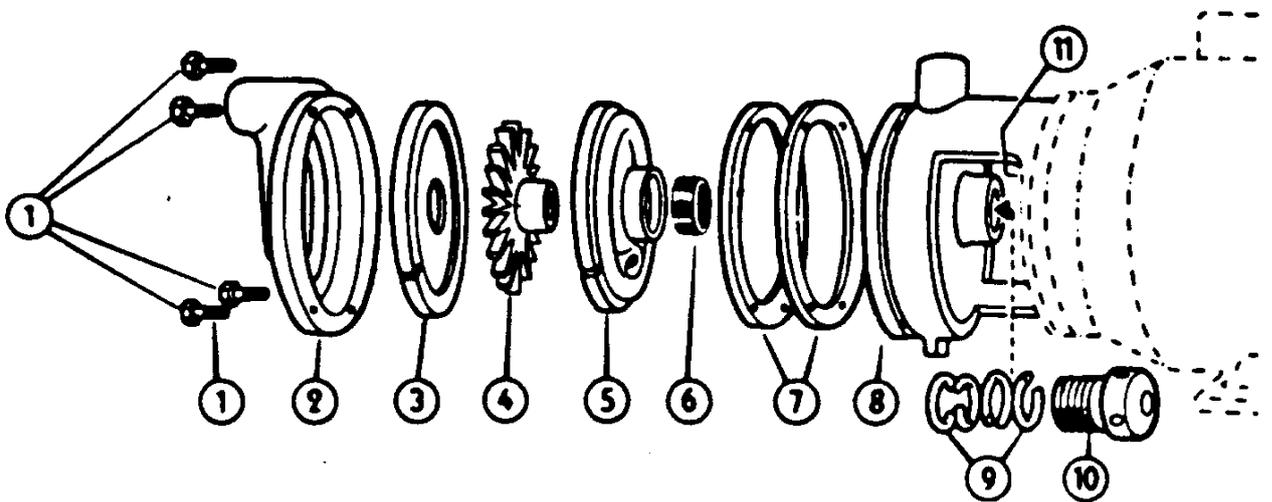
Em princípio, a bomba de anel; de água normal é pouco apropriado para bombear água. Com uma adaptação construtiva pode-se bombear água e também ar. Ela é empregada na obtenção do vácuo e, portanto, para escorvar as bombas centrífugas.



Rotor excêntrico em movimento

Fig.38

– BOMBAS COM ROTOR DE PÁS RADIAIS



Bomba auto-aspirante para água limpa

Fig.39

Componentes

1. Parafusos (aço)
2. Carcaça da bomba (alumínio)
3. Placa dianteira (bronze)
4. Rotor (latão forjado)
5. Placa traseira (bronze)
6. Arruela interna (borracha)
7. Junta de papel hidráulico
8. Bojo da bomba (alumínio)
9. Gaxetas grafitadas
10. Niple para aperto das gaxetas (latão)
11. Parafusos para fixação da bomba ao motor (aço).

– RUÍDO NO FUNCIONAMENTO DAS BOMBAS

O problema da vibração e do ruído preocupa os fabricantes e os instaladores de bombas, havendo evidentemente, preferência pelas bombas mais silenciosas em igualdade de condições de montagem e instalação.

As principais causas das vibrações que se propagam pelo líquido e pelo encanamento, causando ruídos desagradáveis, audíveis às vezes à longas distâncias da bomba são:

- Funcionamento em rotação diversa daquela prevista no projeto;
 - Rotor excessivamente cortado;
 - Descarga reduzida. Verifica-se então uma forte turbulência à entrada do rotor e uma corrente de recirculação ou retorno conhecida como reentry. Esse fenômeno é considerado por alguns como uma das principais causas de ruído das bombas. É bom notar que a bomba funcionando com descarga excessiva está sujeita à cavitação, que produz um “crepitar” diferente do barulho acima referido;
 - Entrada “falsa” de ar na bomba, seja por deficiente vedação nas juntas, ou pelas bolhas de ar trazidas pelo líquido, quando o nível de água no reservatório permite a formação de vórtice.;
 - Altura de aspiração excessiva;
 - Defeitos mecânicos tais como desgaste dos mancais de rolamento da bomba ou do motor elétrico; desgaste dos anéis separadores; empeno do eixo;
 - Fixação afrouxada, que permite a vibração da carcaça da bomba.
-

– RECURSOS PARA REDUZIR AS VIBRAÇÕES

Além de evitar que as condições desfavoráveis citadas ocorram, recomenda-se:

- Usar conexões flexíveis (mangas de lona com borracha) no recalque e, se necessário, na aspiração. A utilização desses elementos flexíveis deve ser feita observando-se o que se diz a respeito de juntas de dilatação próximo às bocas da bomba, devido aos esforços no encanamento que tem de ser absorvidos por blocos, suportes e braçadeiras, para que não causem problemas à estabilidade e segurança das bombas.
 - Usar uma camada de material resiliente ou elástico na tubulação, pelo menos ao longo de certa extensão na linha de recalque.
-

– INDICAÇÕES PARA A TUBULAÇÃO DE ASPIRAÇÃO

Recomendações para a instalação de bombas centrífugas a fim de evitar a formação de bolsas de ar na linha de aspiração. Para o bom funcionamento, devemos observar as indicações nas figuras a seguir:

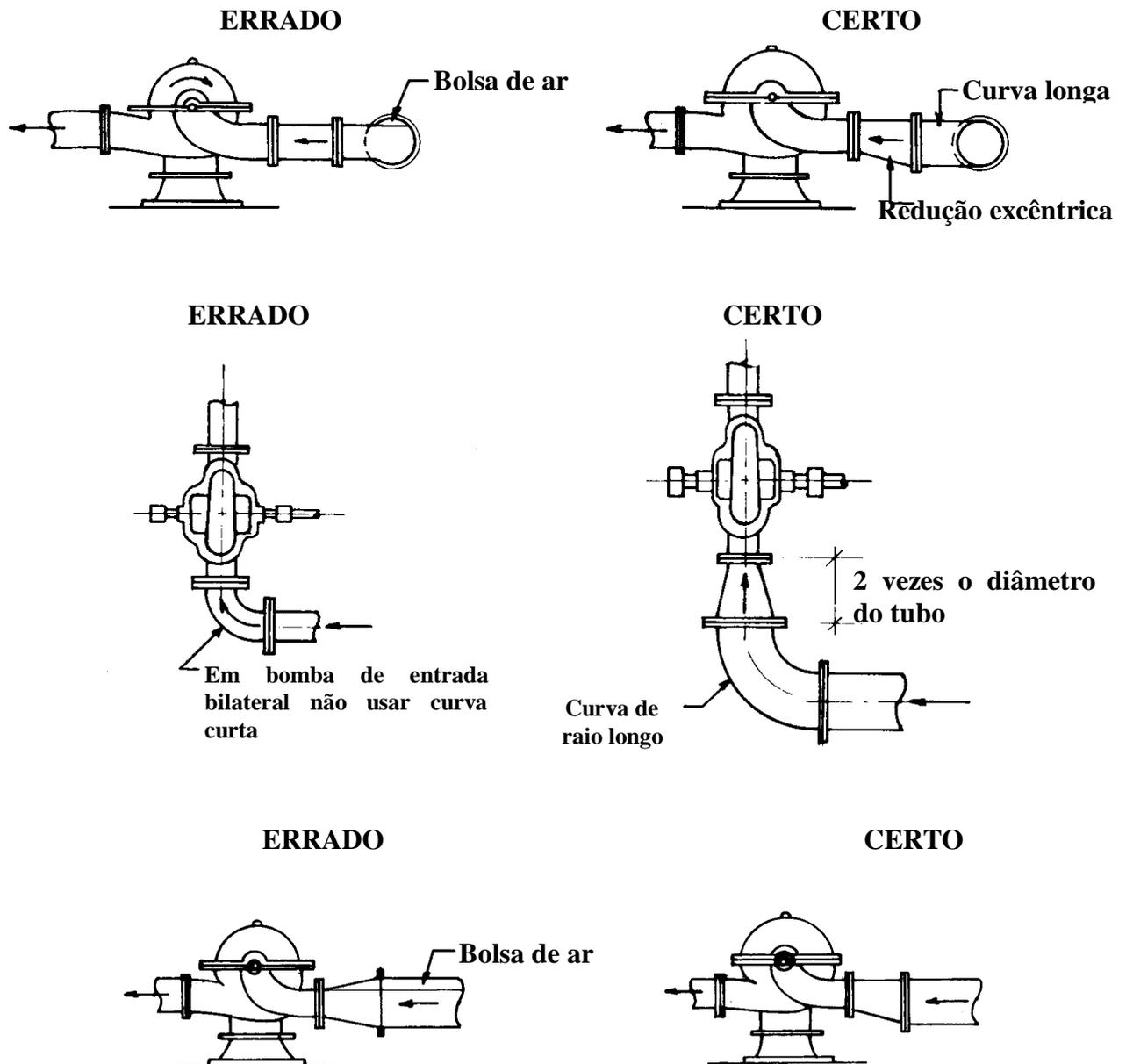


Fig.40

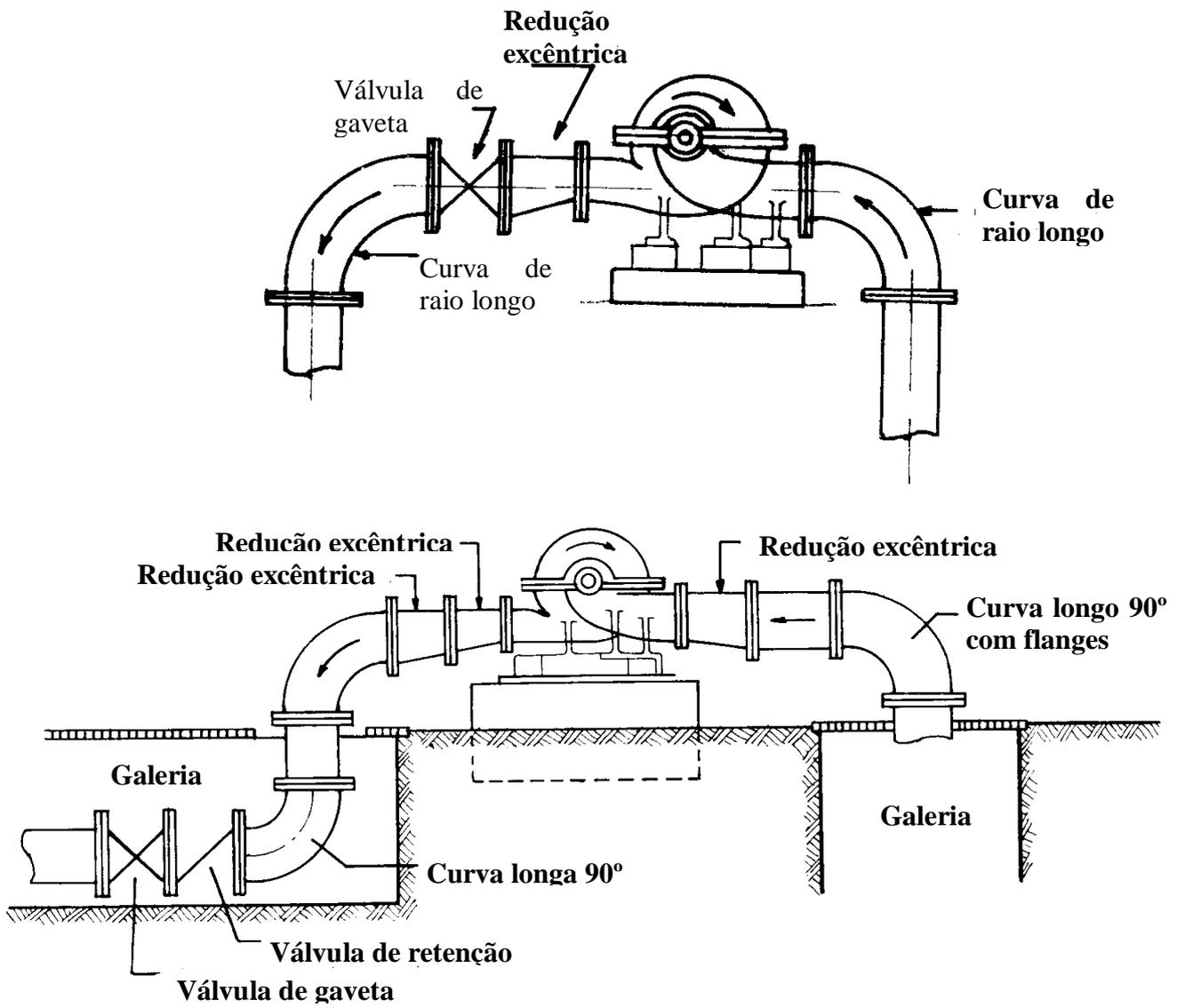


Fig.41

3.1.7 ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS

É a união de duas ou mais bombas, com o intuito de aumentar a vazão ou a altura manométrica.

Bombas são associadas em série e em paralelo. A associação de bombas em série é uma opção quando, para a vazão desejada, a altura manométrica do sistema é muito elevada, acima dos limites alcançados por uma única bomba. Já a associação em paralelo é fundamentalmente utilizada quando a vazão desejada excede os limites de capacidade das bombas adaptáveis a um determinado sistema. Na realidade, o uso de bombas associadas, particularmente em paralelo, oferece vantagens adicionais como flexibilidade e segurança operacionais.

3.1.8 BOMBAS DE VÁRIOS ESTÁGIOS

Um exemplo comum de bombas operando em série é o das bombas de vários estágios. Tudo se passa como se cada estágio fosse uma bomba isolada. A vazão é a mesma em cada estágio e as alturas manométricas vão se somando às anteriores.

As aplicações mais típicas são aquelas de pequenas e médias vazões e alturas manométricas totais elevadas. Assim, são as bombas para alimentação de caldeiras, bombas para abastecimento e bombas para irrigação.

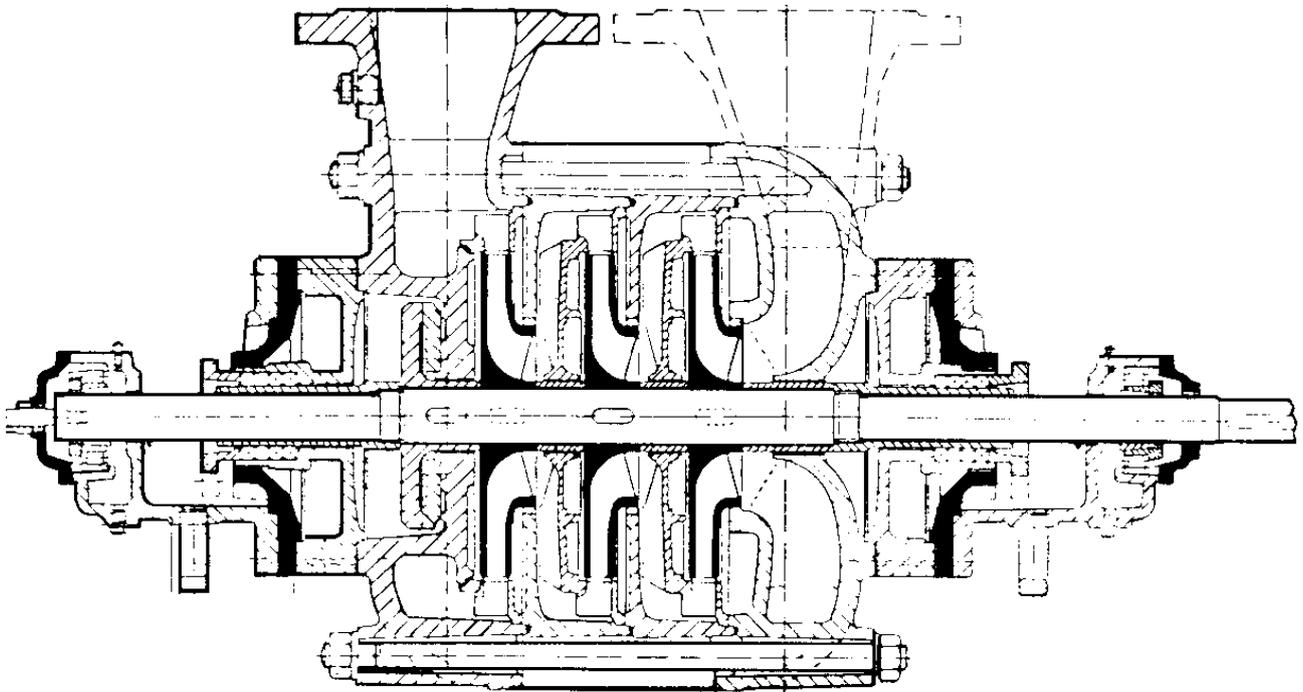
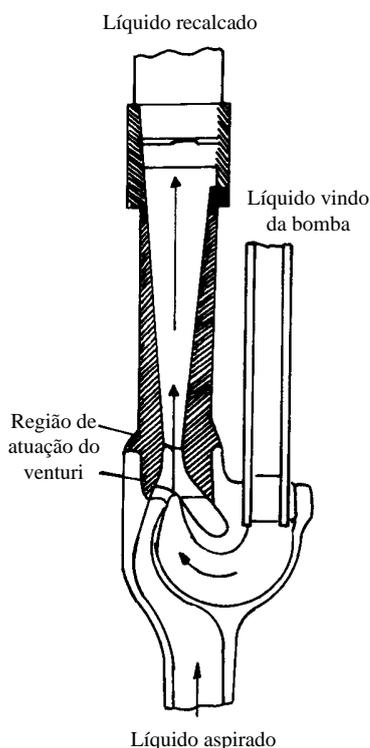


Fig.42: Bomba de eixo horizontal de múltiplos estágios

3.1.9 EJETORES OU TROMPAS DE ÁGUA

Os ejetores ou trompas de água, cujo funcionamento se baseia numa aplicação imediata da equação da conservação da energia, de Bernoulli, são dispositivos que constam essencialmente de um tubo aspirador e um bocal convergente, alimentando um bocal convergente-divergente, isto é, um “Venturi” (Ver figura a seguir)



Esquema de ejetor

Fig.43

São muito empregados em instalações de poços freáticos de profundidades relativamente pequenas, porém superiores às que permitiriam uma bomba centrífuga funcionar segundo a instalação convencional, isto é, com a bomba acima do nível do reservatório.

A água motriz (a que vai produzir a elevação desejada), proveniente de uma bomba centrífuga, atravessa o bocal convergente (misturador) e, em seguida, o bocal convergente-divergente (difusor). Na passagem do bocal convergente para o divergente, na seção estrangulada, a velocidade é máxima e, por conseguinte, a pressão é baixa. A depressão que se forma no ejetor, aliada à velocidade considerável da veia

líquida, produz o arraste do ar existente no encanamento e em seguida do próprio líquido que deve ser aspirado, seguindo ambos pelo tubo de recalque.

São muitas as aplicações dos ejetores instalados em conjunto com bombas centrífugas, as quais proporcionam a descarga e a pressão necessárias ao seu funcionamento.

Entre essas aplicações, temos:

- Obtenção de vácuo em recipiente de instalações industriais de secagem e em certos condensadores de vapor;
- Injeção de ar para o interior de reservatórios hidropneumáticos;
- Esvaziamento de poços de esgotos;
- Retirada de água de poços com profundidade da ordem de 20 a 40 metros ou até mais.

A instalação do ejetor se recomenda quando a altura de aspiração do poço é superior a 6 ou 7 m, ou melhor, quando superior ao valor da máxima altura estática de aspiração permitida.

Quando se emprega vapor ao invés de água como fluido motor nas instalações de alimentação de caldeiras, ou um gás condensável, o dispositivo tem o nome de injetor, embora seja comum designá-lo também por ejetor. Também chama-se de edutores os ejetores que operam com água, como os que acabamos de ver, ou com outros líquidos e que alguns fabricantes e autores, entretanto, chamam de injetores.

3.1.10 BOMBAS PARA INDÚSTRIAS QUÍMICAS E DE PROCESSAMENTO

– CONCEITUAÇÃO

O bombeamento de líquidos em operações nas Indústrias químicas constitui um dos maiores desafios aos fabricantes de bombas centrífugas, dadas as características e propriedades dos líquidos empregados e as condições severas à que as bombas são submetidas.

Bombeia-se líquidos tóxicos, inflamáveis, explosivos, viscosos, pastosos, muito quentes ou muito frios, o que dá uma indicação da complexidade dos problemas relacionados com o projeto e escolha adequada das bombas.

Costumam ser designadas por bombas de processo aquelas que, numa dada indústria, promovem o escoamento de líquidos de modo à permitir a realização de transformações

físicas ou químicas nos mesmos. Também se enquadram, sob essa denominação, as utilizadas em operações de armazenagem, manuseio e operação de líquidos.

Alguns autores consideram, como bombas de processo, as bombas com características em grande parte semelhante às das bombas para produtos químicos, mas projetadas para condições extraordinariamente severas, principalmente com relação à temperatura e à pressão do líquido a ser bombeado.

Consideremos, todavia, como bombas de processo, as utilizadas nas refinarias de petróleo, nas indústrias petroquímicas e químicas, nas indústrias farmacêuticas e de certos alimentos, nas centrais de geração de vapor e nos terminais de armazenagem e distribuição de produtos de petróleo.

A escolha do tipo de bomba e dos materiais de suas partes constitutivas depende das características dos produtos bombeados e dos fenômenos físico-químicos que poderiam vir a ter lugar durante a passagem do líquido pela bomba. É necessário, na escolha, levar em consideração certas circunstâncias que analisaremos a seguir.

– GRAU DE CONCENTRAÇÃO

Via de regra, quanto maior o grau de concentração de um ácido ou base, maior a agressividade do produto, havendo, contudo, exceções, pois há ácidos diluídos altamente corrosivos. O ácido sulfúrico diluído é mais agressivo ao ferro do que o concentrado. O ácido nítrico concentrado não permite o emprego de plástico, exigindo aços inoxidáveis, e assim por diante.

– NATUREZA DOS CONSTITUINTES DA MISTURA

O teor das substâncias influi no grau de agressividade de um produto em processamento. Produtos adicionais ao ácido sulfúrico determinam afinidades químicas especiais com certos materiais.

– TEMPERATURA

Em geral, as reações químicas se aceleram com a elevação da temperatura e, considerando a corrosão como uma reação química, isto deve ser levado em conta.

Além disso, deve-se considerar que os metais e ligas metálicas, além da dilatação térmica, têm suas propriedades mecânicas como, seus limites de elasticidade e de resistência, grandemente afetados, quando atingidos determinados níveis de temperatura.

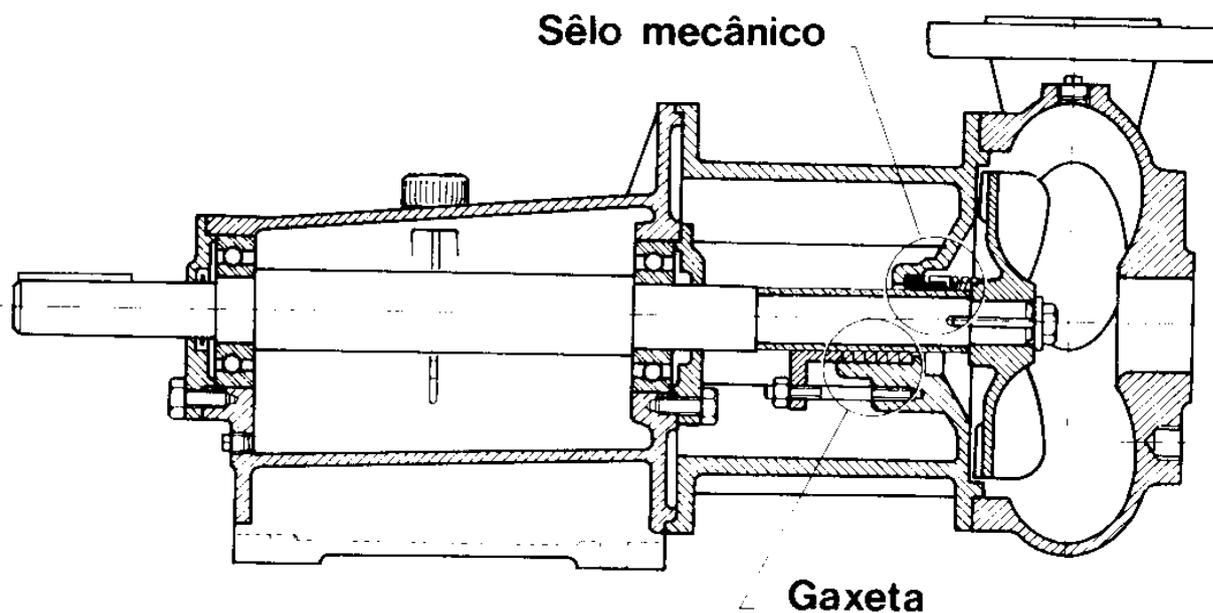
A temperatura pode, em certos casos, determinar alterações na estrutura cristalina dos metais, redução da capacidade de resistência à corrosão e até mesmo provocar reações químicas.

3.1.11 BOMBEAMENTO DE MATERIAIS ABRASIVOS

Quando se trata de bombear suspensões de sólidos abrasivos, empregam-se as bombas centrífugas com rotor de borracha, neoprene, nitrilo, hypalon ou aço fundido revestido de um desses materiais e carcaça de ferro fundido também revestido com um dos referidos materiais. Alguns projetos de bombeamento de polpas têm optado por rotores de aço e carcaça de ferro fundido silicioso.

Para misturas extremamente abrasivas, com grande variedade de granulações, tem sido usados rotores de aço-níquel, aço-cromo ou aço Cromo-Níquel e carcaça dos mesmos materiais.

Tanto no caso das misturas homogêneas quanto no das heterogêneas, as peças são de espessura considerável e executadas de tal modo que possam ser facilmente removidas e substituídas quando gastas, conforme mencionado anteriormente.



O formato especial das palhetas deste rotor não permite que nenhum sólido aloje-se entre elas, desta forma jamais haverá entupimento, pois o líquido bombeado não precisa atravessar o rotor.

Fig.44

3.2 BOMBAS VOLUMÉTRICAS OU DE DESLOCAMENTO POSITIVO.

Ao contrário das bombas centrífugas, este tipo de máquina tem por característica de funcionamento a transferência direta da energia mecânica cedida pela fonte motora em energia potencial (energia de pressão). Esta transferência é obtida pela movimentação de um órgão mecânico da bomba que obriga o fluido a executar o mesmo movimento.

O fluido desloca o mesmo volume que realiza o órgão mecânico da bomba, em movimentos alternados, daí o nome de bombas volumétricas.

A variação destes órgãos mecânicos (êmbolo, diafragma, engrenagens, parafusos, etc.), são responsáveis pela variação na classificação das bombas volumétricas ou de deslocamento positivo, as quais dividem-se em:

- Bombas de Êmbolo ou Alternativas;
- Bombas Rotativas.

3.2.1 BOMBAS DE ÊMBOLO OU ALTERNATIVAS

Nas bombas de êmbolo, o órgão que produz o movimento do fluido é um pistão que, em movimentos alternativos aspira e expulsa o fluido bombeado.

3.2.2 BOMBAS ROTATIVAS

As bombas rotativas podem ser de parafusos, engrenagens, palhetas ou de lóbulos. O funcionamento volumétrico de todas elas consiste no preenchimento dos interstícios entre rotor e carcaça, sendo que o somatório de todos eles, menos o vazamento natural (recirculação), corresponde à vazão total fornecida pela bomba.

3.2.3 BOMBAS ALTERNATIVAS

– PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

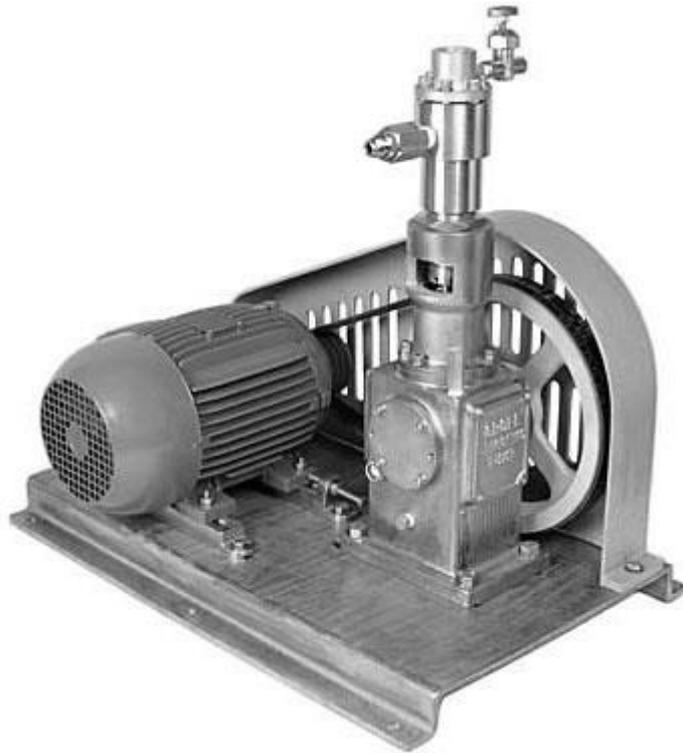
As bombas alternativas, também chamadas bombas de êmbolo ou bombas recíprocas, fazem partes das bombas volumétricas pois nelas, o líquido pelas condições provocadas pelo deslocamento do pistão, enche os espaços existentes no corpo da bomba (câmara ou cilindros). Em seguida, o líquido é expulso pela ação do movimento do pistão, que exerce força na direção do próprio movimento do líquido. Também são chamadas de bombas de deslocamento positivo.

No curso da aspiração, o movimento do êmbolo ou pistão tende a produzir o vácuo no interior da bomba, provocando o escoamento do líquido existente num reservatório graças à pressão aí reinante (geralmente a atmosférica) e que é superior a existente na câmara da bomba. É essa diferença de pressões que provoca a abertura de uma válvula de aspiração e mantém fechada a de recalque.

No curso de descarga, o êmbolo exerce força sobre o líquido, impelindo-o para o tubo de recalque, provocando a abertura da válvula de recalque e mantendo fechada a de aspiração.

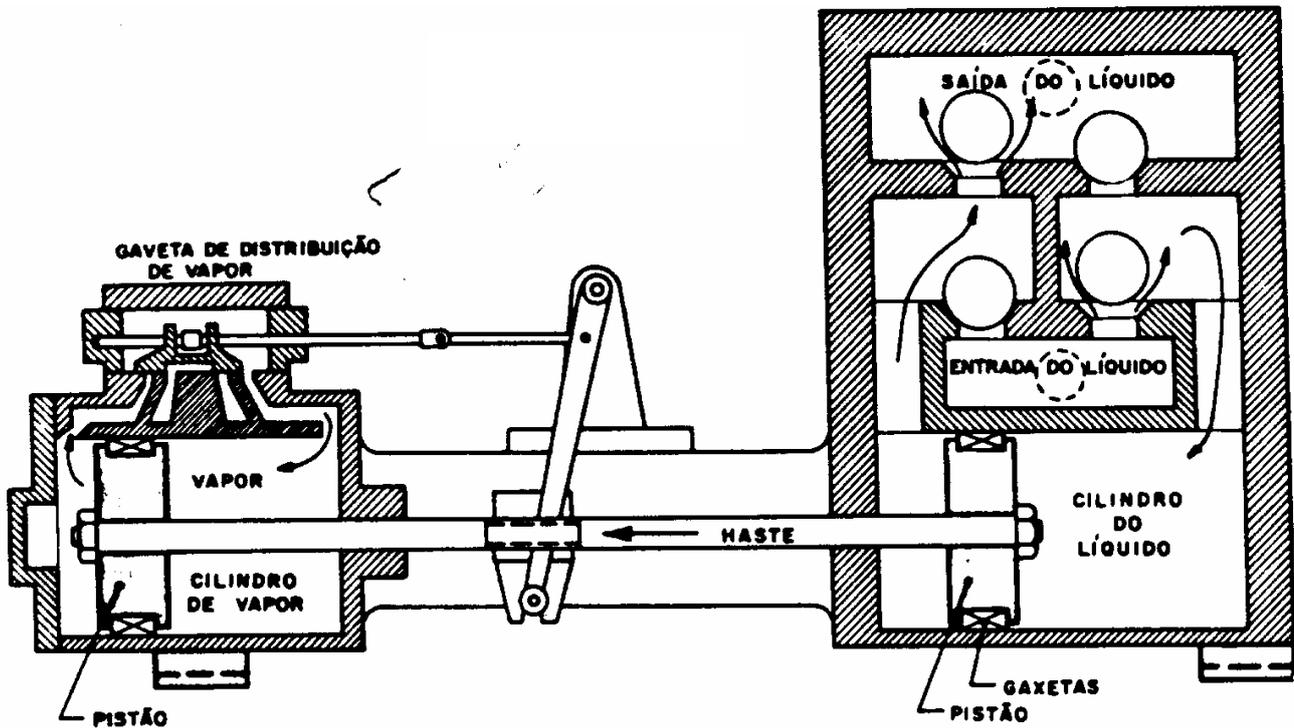
A descarga é intermitente e as pressões variam periodicamente em cada ciclo. Essas bombas são auto-escorvantes e podem funcionar como bombas de ar, fazendo vácuo se não houver líquido a aspirar.

A bomba alternativa pode ser acionada manualmente ou com o emprego de uma máquina motriz. É evidente que o primeiro caso só ocorre em instalações precárias de bombas de reduzida descarga, de pequena altura manométrica e que só devem funcionar por períodos curtos (retirada de água de poços ou cisternas em locais onde não haja possibilidade de utilizar outra forma de energia, por exemplo).



3.2.4 BOMBAS ACIONADAS POR VAPOR

Também denominadas bombas de ação direta, possuem uma haste com pistão em cada extremidade. Um dos pistões recebe a ação do vapor através de uma válvula de distribuição dos tipos gaveta ou pistão, típicos de máquinas a vapor, de modo que essas bombas são de duplo efeito. O pistão na outra extremidade da haste desloca-se no interior do cilindro da bomba, atuando sobre o líquido.



Representação esquemática de uma bomba de ação direta (acionada por vapor).

Fig.45

As bombas de ação direta podem ser de:

- Deslocamento horizontal
- Deslocamento vertical

Com relação ao órgão propulsor do líquido, podem ser de:

- Pistão
- Êmbolo - O êmbolo é de certo modo um pistão alongado.

Quanto ao número mínimo de cilindros, dividem-se em bombas:

- Simplex, quando tem um único cilindro com líquido no qual se dá o bombeamento;
- Duplex, quando tem dois cilindros com líquido em escoamento.

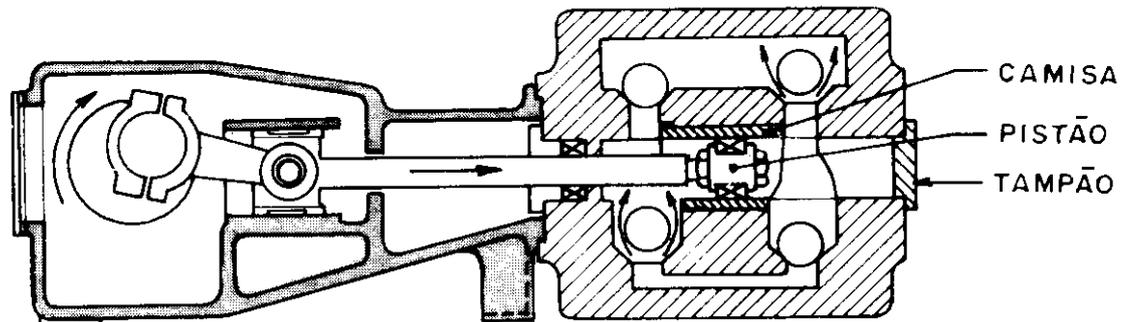
As bombas de ação direta são empregadas na alimentação de águas de caldeiras, pois aproveitam o vapor gerado na caldeira para seu próprio acionamento.

3.2.5 BOMBAS DE POTÊNCIA OU BOMBAS DE FORÇA (POWER PUMPS)

São acionadas por motores elétricos ou de combustão interna, sendo o movimento transmitido pelo mecanismo do sistema eixo de manivela-biela-cruzeta-pistão. Normalmente possui um volante destinado à garantir a regularidade no funcionamento.

Pode ser subdividida em bombas de:

- Deslocamento vertical;
- Deslocamento horizontal;
- Simplex efeito;
- Duplo efeito;
- Pistão;
- Êmbolo;
- Simplex;
- Dúplex;
- Multiplex.



Bomba de pistão, de potência, horizontal, duplo efeito, simplex

Fig.46

3.2.6 BOMBAS DE DESCARGA CONTROLADA

Também conhecidas como bombas medidoras, bombas dosadoras ou de injeção de produtos químicos, são bombas que deslocam com precisão um pré-determinado volume de líquido em um tempo preestabelecido. São acionadas por motores, usando em geral mecanismo do tipo eixo de manivela-biela.

Podem ser dos tipos horizontal e vertical. Dividem-se em bombas dosadoras de:

- Êmbolo
- Pistão
- Diafragma
- A bomba de diafragma pode ser de:
 - Acoplamento mecânico direto (bombas de gasolina ou álcool em veículos auto motores);
 - Acoplamento hidráulico (nas bombas medidoras propriamente ditas)

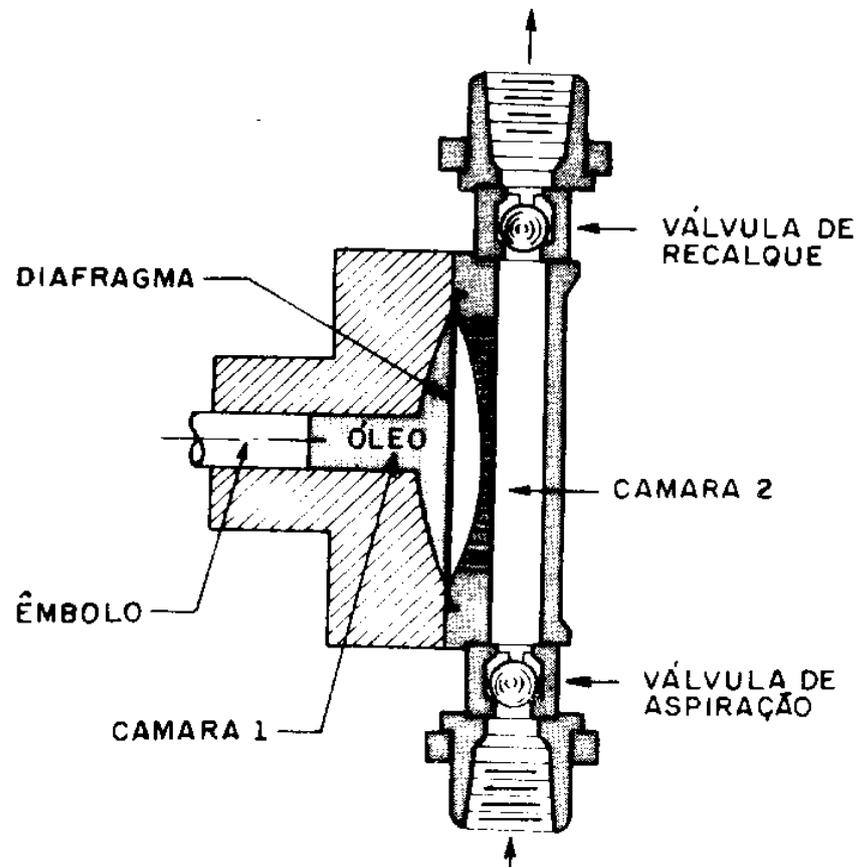
As três modalidades que acabam de ser mencionadas podem ser dos tipos:

- Simplex;
- Duplex;
- Multiplex.

O controle ou graduação da vazão da bomba pode ser feito:

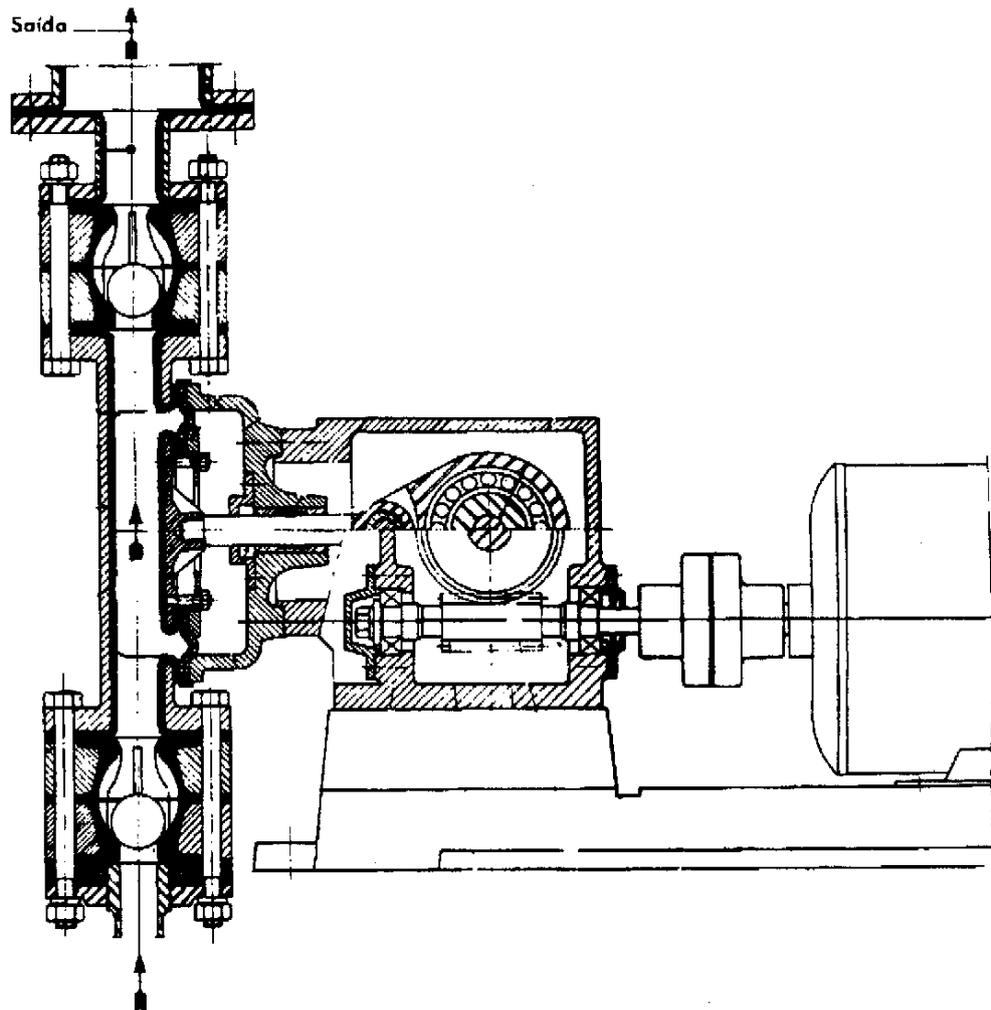
- Manualmente;
- Automaticamente.

A figura a seguir mostra as partes essenciais de uma bomba de diafragma. O êmbolo, em seu movimento retilíneo alternativo, atua sobre o óleo contido na câmara (1), o qual produz o deslocamento desejado da membrana elástica que é o diafragma. O líquido bombeado passa pelo interior da câmara (2). Vê-se, pois, que não há riscos de vazamento, pois não há gaxetas, e por isso essas bombas são muito usadas para líquidos que não possam sujeitar-se a vazamentos.



Bomba de diafragma, atuação por óleo pela ação de êmbolo horizontal
Fig.47

A figura abaixo mostra uma bomba de diafragma largamente usada no bombeamento de líquidos corrosivos, voláteis, abrasivos, contendo pigmentos, lamas, cimentos ou amianto, tintas, vernizes, cal, entre outros. Salvo casos em que o tipo de bomba comporte uma válvula interna de alívio, deve-se instalar uma válvula de segurança ou de alívio no início da tubulação de recalque, antes de quaisquer outras válvulas ou dispositivos.



Bomba de diafragma para líquidos corrosivos.

Fig.48

3.2.6.1 CÂMARA DE AR (AMORTECEDOR DE PULSAÇÕES)

A câmara de ar é um reservatório fechado, represando, na parte superior, um determinado volume de ar, destinado, por sua expansão, a manter uma descarga praticamente constante nos encanamentos de uma instalação de bomba de êmbolo.

A câmara de ar pode ser aplicada quer no encanamento de recalque, quer no de aspiração, ou em ambos, mas de preferência no primeiro. A câmara, como mostra a figura seguinte, fica ligada à bomba e ao encanamento e, normalmente, possui um tubo de nível externo que permite verificar suas condições de funcionamento. Possui também uma válvula de segurança e um dreno para regular o volume de ar.

Quando a bomba pára, o ar da câmara de recalque deve ficar sujeito à uma pressão relativa, que corresponde à da coluna do líquido, representada pela diferença de cotas entre a extremidade superior do tubo de recalque e o nível do líquido na câmara.

O ar da câmara de aspiração, quando a bomba está parada, encontra-se sob uma depressão ou vácuo relativo que corresponde à da coluna líquida de altura igual à diferença de cotas entre os níveis livres do líquido na câmara e no reservatório inferior.

A grande massa líquida existente na canalização se opõe, por sua inércia, à variação da descarga originária da bomba, o mesmo não ocorrendo com a pequena parcela de líquido contido na câmara, que pode deslocar-se com relativa facilidade devido a menor resistência oferecida pelo ar, em virtude de sua grande compressibilidade. Nos intervalos em que a bomba fornece descargas superiores a média, o excesso de líquido penetra na câmara, reduzindo o volume de ar, aumentando sua pressão, permitindo, assim, sua expulsão nos períodos em que há deficiência de descarga. A câmara de ar funciona como um órgão regulador de descarga, armazenando os excessos para restituí-los nas deficiências.

Na câmara de aspiração, o fenômeno ocorre em sentido inverso, quando a bomba solicita um maior volume de líquido, é a câmara que fornece, resultando daí um maior volume de ar que acarretará uma redução da pressão, ou seja, um aumento de depressão (vácuo), e a conseqüente aspiração do líquido que se acha no reservatório inferior. A variação de descarga nos encanamentos se processa de uma maneira muito lenta e sempre com pequena amplitude, enquanto que, nos trechos que vão da bomba às câmaras, ocorre justamente o contrário.

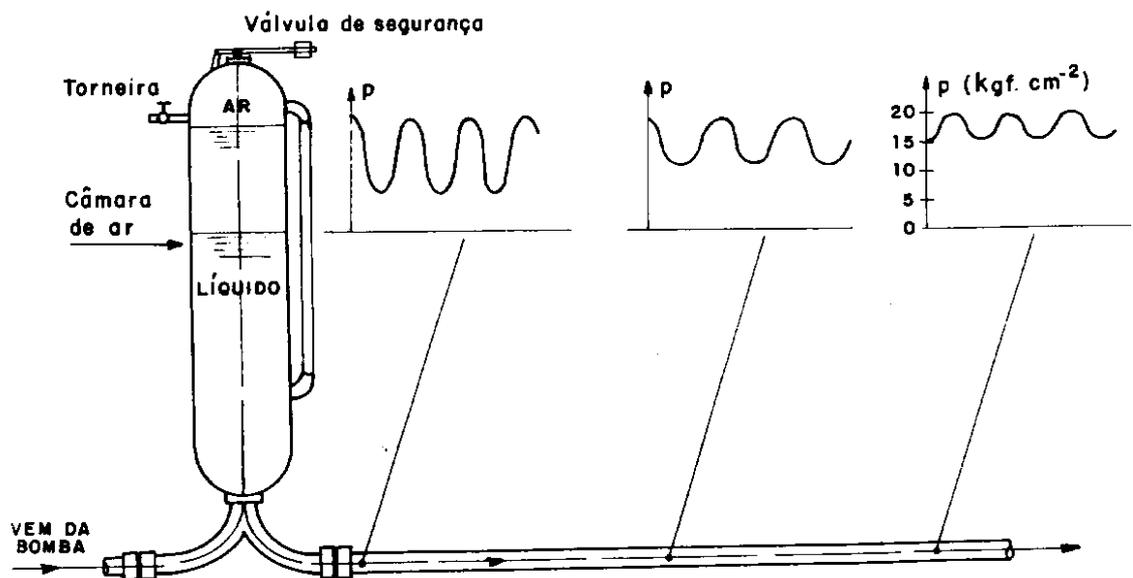


Diagrama indicando a amplitude de oscilações da pressão no encanamento de recalque de uma bomba alternativa com câmara de ar no recalque

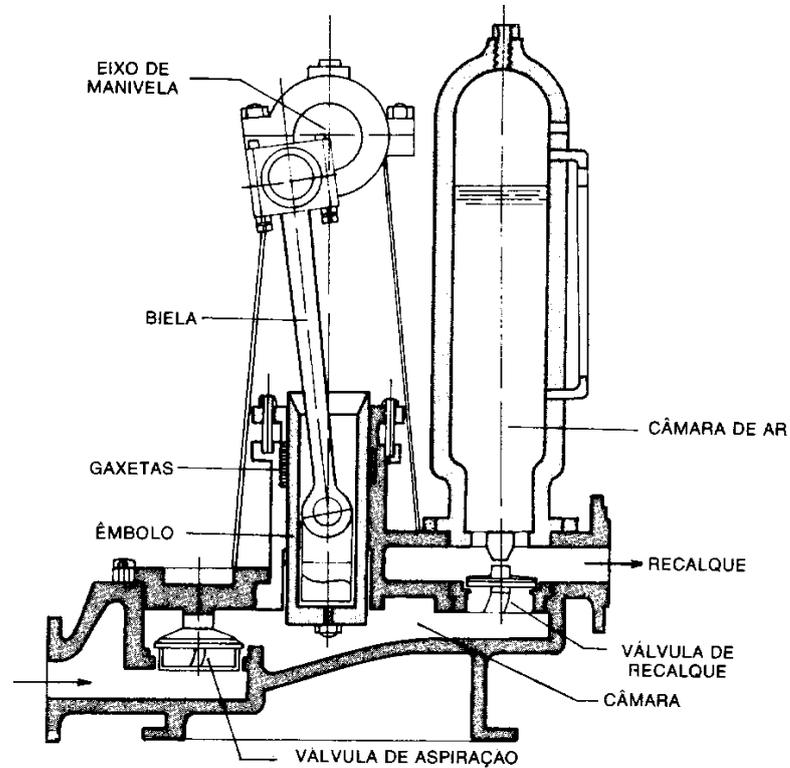
Fig.49

O volume de ar nas câmaras pode ser assim adotado:

- 22 vezes a descarga aspirada em cada ciclo do êmbolo, nas de 1 cilindro, de simples efeito (ver figura a seguir)
- 10 vezes a referida descarga, nas de 1 cilindro, de duplo efeito.
- 5 vezes a descarga, na dúplex, de duplo efeito.
- 2 vezes a descarga nas triplex, de duplo efeito.

Na prática, as câmaras de ar já vem incorporadas à bomba, trazendo dispositivos que permitem regular, experimentalmente, o volume de ar, para que se obtenha o melhor rendimento na instalação dada, o que depende das características do encanamento utilizado. Se este for muito longo, deve-se examinar a necessidade de uma câmara de ar adicional no recalque, e recomenda-se uma válvula de alívio no recalque.

As câmaras de ar nas bombas de mais de três cilindros (multiplex) asseguram um escoamento praticamente uniforme na tubulação ligada à bomba.



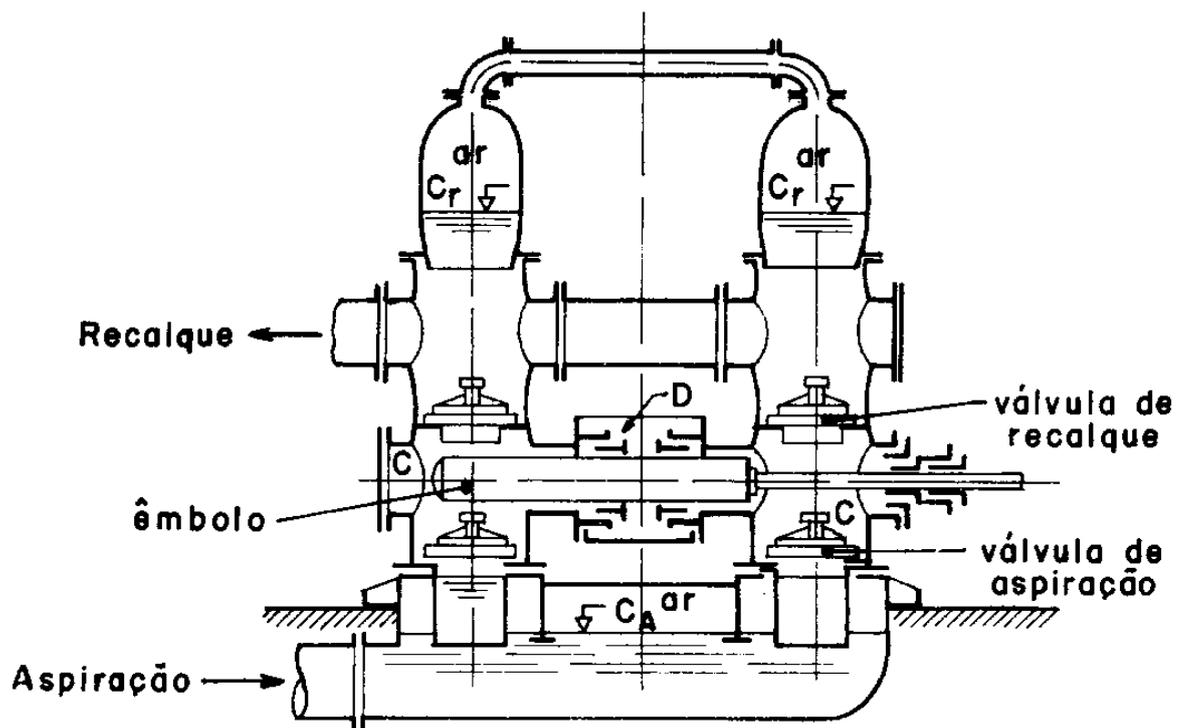
Bombas de êmbolo com câmara de ar no recalque

Fig.50

Entre as bombas de êmbolo dotadas de câmara de ar na aspiração e no recalque, são comuns os dois tipos seguintes:

3.2.6.2 BOMBAS DE DUPLO EFEITO

Com câmaras de ar na aspiração e no recalque, cujo esquema está indicado na figura abaixo.



Bomba de êmbolo de duplo efeito, com câmara de ar no recalque e na aspiração
Fig.51

A bomba consta de duas câmaras (C_A) e (C_R) e de êmbolo alongado, não havendo a preocupação de adaptá-lo às paredes da câmara, mas apenas um dispositivo intermediário (D) de separação das câmaras. O movimento alternativo do êmbolo provoca uma contínua variação do volume de cada uma das câmaras, dando origem à aspiração e ao recalque do líquido graças às válvulas que permitem comunicar as câmaras de ar com os cilindros.

3.2.6.3 BOMBAS DE SIMPLES EFEITO COM ÊMBOLO DIFERENCIAL

A figura abaixo representa uma bomba de cilindro vertical provida de êmbolo diferencial. Seu objetivo é obter um funcionamento análogo ao do cilindro de duplo efeito, usando apenas uma válvula na aspiração e uma válvula no recalque, e não os dois pares, como no caso anterior. O êmbolo diferencial é constituído por uma única peça com dois trechos de diâmetros diferentes.

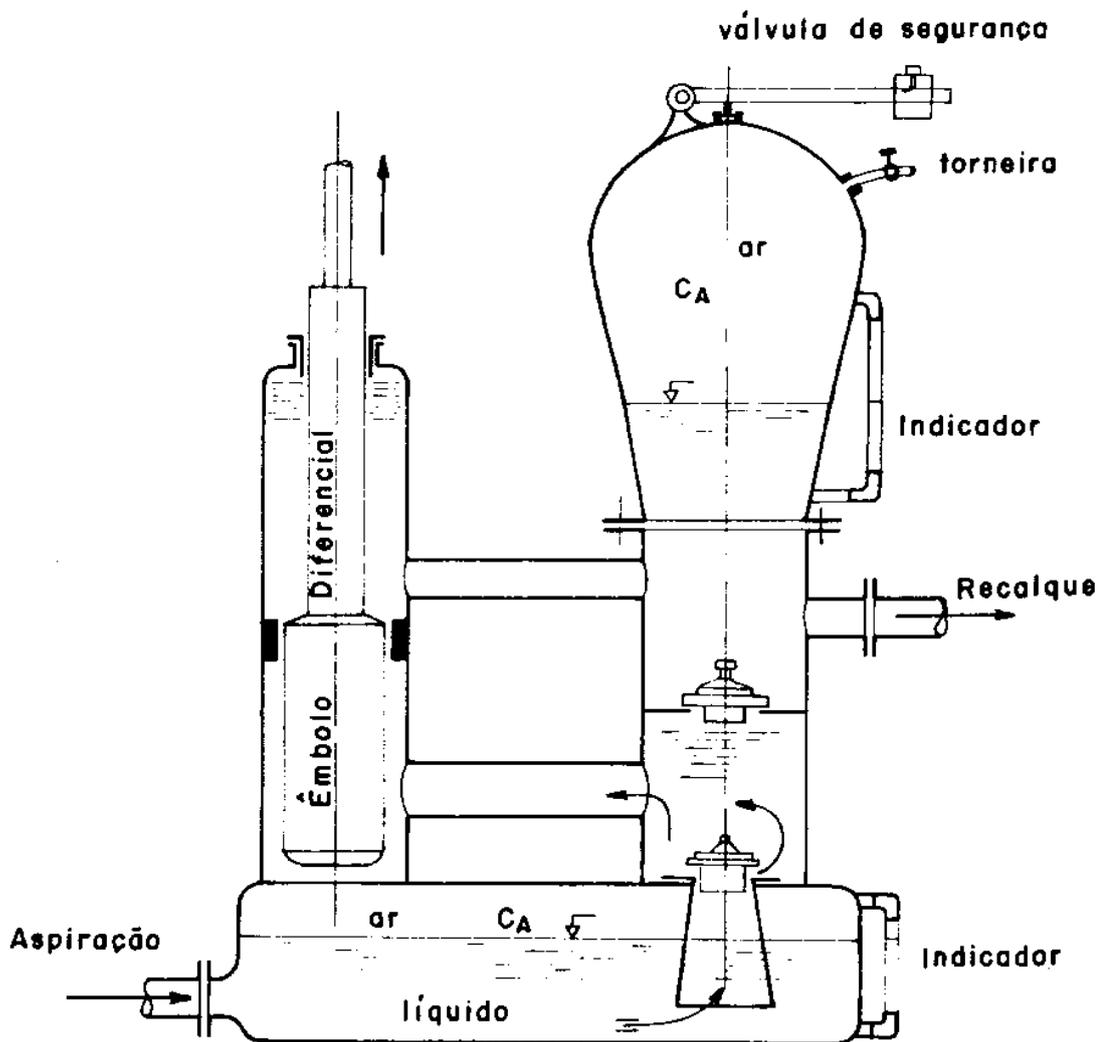


Fig.52

– INDICAÇÕES PRÁTICAS PARA INSTALAÇÕES DE BOMBAS DE ÊMBOLO

- a) Pressões - As bombas de êmbolo não têm limite de pressões. Constroem-se atualmente para pressões de 1000 atmosferas e ainda mais, bastando fazer a bomba suficientemente resistente e o motor com a necessária potência.
- b) Velocidade da água

No tubo de aspiração: - linhas curtas (<50m), adota-se $V \pm 1,5$ m/s
- linhas longas (>50 m), adota-se $V \pm 0,75$ m/s

No tubo de recalque: - linhas curtas: $1,5 < V < 2,0$ m/s
- linhas longas: V da ordem de 1 m/s
- c) Abertura livre de entrada do líquido no crivo do tubo de aspiração. Deve ser de 2 a 3 vezes da área de seção do escoamento do tubo.
- d) Abertura livre das válvulas. 1,5 a 2 vezes a área dos tubos de aspiração e de recalque, conforme se trate de válvula de aspiração ou de recalque.
- e) Válvula de alívio. Deve ser prevista na instalação da bomba de êmbolo e graduada para pressão ligeiramente superior à máxima pressão de operação da bomba. Consultar catálogos dos fabricantes.

– COMPARAÇÃO ENTRE BOMBAS CENTRÍFUGAS, DE ÊMBOLO, E DE PISTÃO.

As bombas de êmbolo e de pistão, de emprego quase que generalizado como máquinas elevatórias até fins do século passado, começaram a ceder terreno às bombas centrífugas, a medida que as vantagens destas se iam patenteando para vários campos de utilização e técnica de seu projeto e fabricação se aperfeiçoava.

Não resta dúvida, porém, de que foi o desenvolvimento da indústria de motores elétricos e de turbinas à vapor que possuem velocidades elevadas, que influíram no interesse pelo aperfeiçoamento da técnica de projeto e construção das bombas centrífugas, pois estas podem ser ligadas diretamente ao eixo dos motores e das turbinas, ou através de simples redutores de velocidade (caso das turbinas à vapor de rotação muito alta).

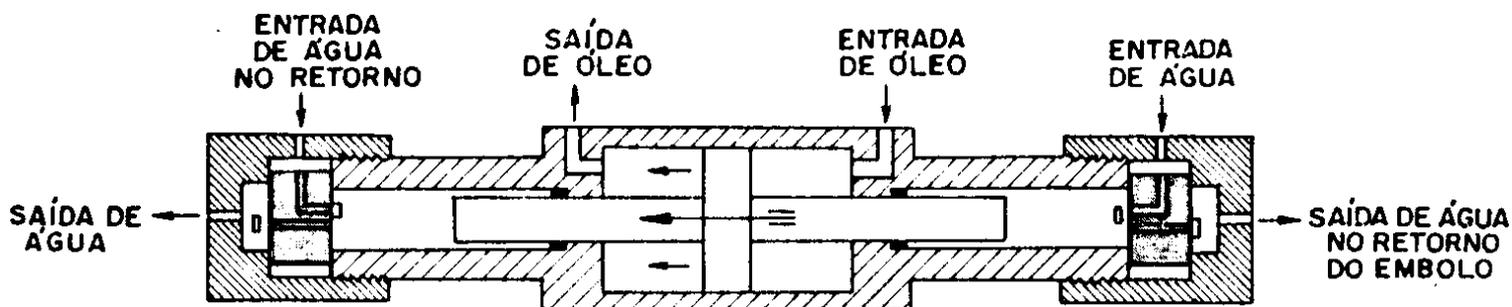
Em relação às bombas de êmbolo, as bombas centrífugas apresentam entre outras, as seguintes vantagens:

- Simplicidade de projeto e construção devido ao pequeno número de peças constitutivas.
 - Pequeno espaço que ocupam. Para uma mesma descarga e altura manométrica, as bombas centrífugas podem vir a ocupar cerca da quinta parte da área da planta de instalação de uma bomba de êmbolo.
-

- Peso notavelmente reduzido, conduzindo fluidos a um baixo custo para o material empregado em sua fabricação e fundações menores e menos dispendiosas.
- Pela mesma natureza do seu funcionamento, não provocam vibrações e sobrepressões excessivas, transmissíveis pelo líquido aos encanamentos, e do corpo da bomba às fundações, dispensando normalmente medidas de segurança para proteção dos encanamentos e fundações de elevado custo.
- Permitem um controle fácil da descarga entre limites amplos, com o auxílio de uma simples válvula instalada no início da tubulação de recalque, e, além disso, até, certos limites, fornecem descargas superiores a normal, com o aumento do número de rotações, o que aliás também ocorre com as bombas alternativas.
- Pela sua simplicidade, a ausência de válvulas, apresenta um reduzida despesa de manutenção.
- A manobra, para ser posta em funcionamento, é de extrema simplicidade.
- Permitem, introduzindo certas características na forma do rotor, a elevação de líquidos sujos ou contendo substâncias sólidas, pastosas, esgotos sanitários, entre outros.
- Preço menor para os mesmos valores de **(Q)** e **(H)**

As bombas de êmbolo apresentam as seguintes vantagens:

- Para grandes alturas manométricas e descargas pequenas, podem ser a melhor ou a única solução, se a pressão for superior à 200 atmosferas. Até este limite ou ainda mais podem-se usar bombas centrífugas de múltiplos estágios, mas há de levar em conta seu preço e a possibilidade de utilizar vapor de uma instalação local, quando poderá ser preferível o uso das bombas de êmbolo pela forma de acionamento já vista.
 - Para líquidos de viscosidade acima de 20.000 SSU, o rendimento das bombas centrífugas se reduz, devendo-se usar bombas alternativas até cerca de 100.000 SSU, quando se passa a empregar as bombas rotativas. Essa indicação não tem caráter absoluto, pois, atualmente, prefere-se usar bombas centrífugas de múltiplos estágios para bombeamento de óleo nos dutos.
-



Bomba intensificadora de pistão

Fig.53

A figura acima mostra esquematicamente uma bomba intensificadora. O óleo movimenta um pistão de grande diâmetro para frente e para trás. Este pistão, por sua vez, movimenta dois outros, menores, que bombeiam a água.

O sistema possui retentores de alta pressão e válvulas que permitem a entrada e saída de água, de maneira que a pressão do óleo sobre o pistão maior movimenta-o para a esquerda, comprimindo assim, a água com pistão menor. Atingindo o final do curso pelo pistão maior, o fluxo de óleo se inverte, fazendo-o deslocar-se para a direita, comprimindo a água com o segundo pistão menor. A pressão de óleo necessária para obter a pressão necessária na água é de, no máximo, 210 kgf/cm^2 para o corte dos materiais de maior dureza.

Com uma velocidade média de 1000 metros por segundo, é capaz de perfurar e cortar chapas de materiais que vão desde o papelão, passando pelos plásticos, compensados de madeira, fibra de vidro e granito, até o alumínio.

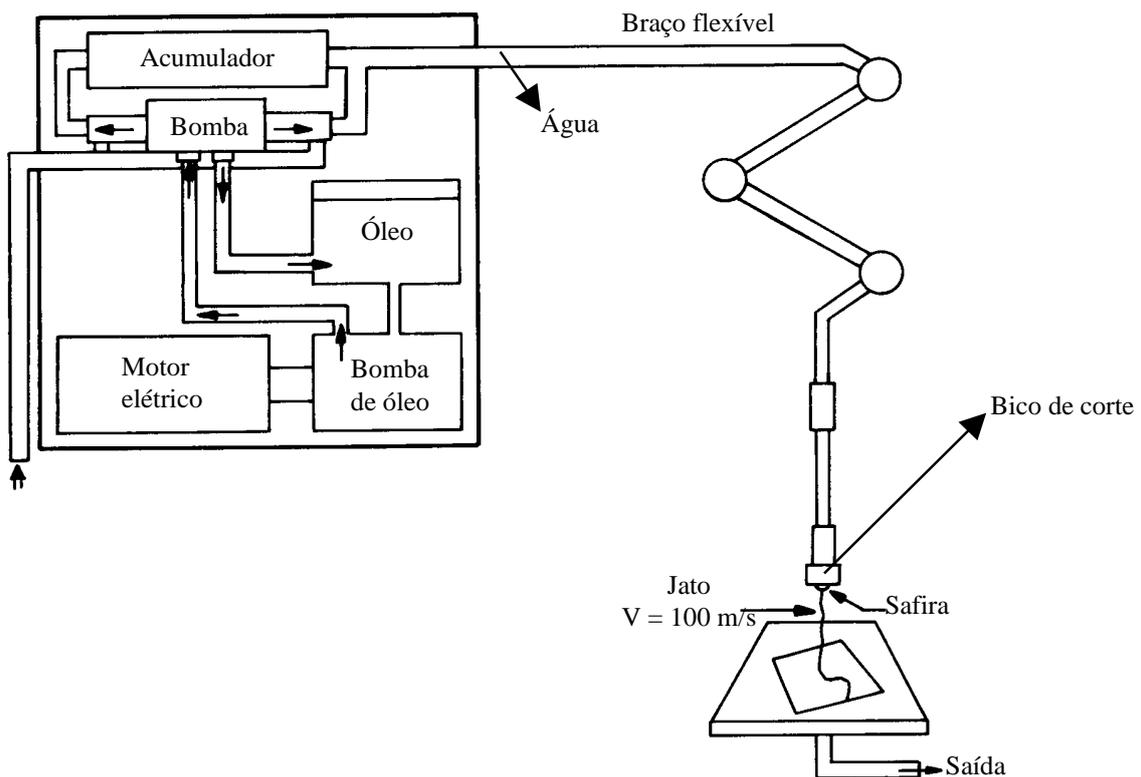
O sistema contém, além da bomba intensificadora, um dispositivo para obtenção de compensação de pressão constante, permitindo que o bico de corte seja ligado ou desligado a qualquer momento, mesmo que todo o sistema esteja em funcionamento.

Possui também equipamentos para filtragem e refrigeração do óleo e um acumulador de água à alta pressão, que é simplesmente uma câmara de armazenamento de água pressurizada necessária para manter uniformidade na operação. O dispositivo final é um receptáculo que recebe o jato de água após ter ele atravessado o material que está sendo cortado, assegurando proteção ao operador e reduzindo o nível de ruído.

Para o corte de concreto, aço-carbono e inoxidável, placas espessas de vidro e uma série de materiais de grande dureza, existe o sistema PASER.

O bocal de corte possui na entrada uma câmara de injeção por onde penetra um abrasivo (carboneto de tungstênio ou carboneto de boro) sob os efeitos da gravidade e do Venturi do jato de água em alta velocidade . Na câmara ocorre a transferência da energia cinética da água para as partículas abrasivas. O corte do material ocorre por microusinagem, erosão e cisalhamento, dependendo da natureza do mesmo.

O corte da água sob pressão tem sido usado para cortar concreto e asfalto, colunas e vigas de concreto armado ou aço. Em plataformas off-shore é usado em serviços de construção e reparação, inclusive em trabalhos submersos. É empregado na indústria automobilística , metalúrgica, aeroespacial, usando em geral robôs e copiadores óticos e eletrônicos para movimentar o bocal de corte. Em muitos casos, o PASER tem sido escolhido para realizar cortes que normalmente seriam feitos com serras diamantadas, discos abrasivos, cortes com plasma e laser.



Esquema de um sistema de corte com água

Fig.54

3.3 BOMBAS ROTATIVAS

Na classificação geral de bombas, as bombas rotativas volumétricas foram incluídas entre as chamadas do “deslocamento positivo”. Seu funcionamento básico é o de qualquer bomba de deslocamento positivo exposto em bombas de deslocamento positivo.

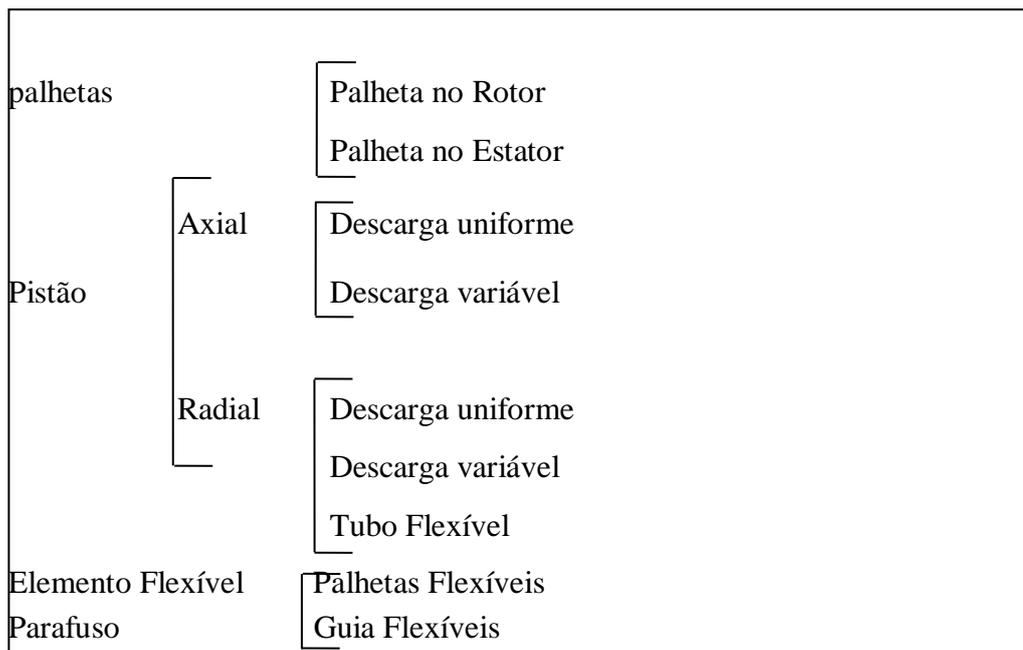
Existe uma grande variedade de bombas rotativas que encontram aplicação não apenas no bombeamento convencional, mas principalmente nos sistemas de lubrificação, nos comandos, controles e transmissões hidráulicas e nos sistemas automáticos com válvulas de seqüência. Teoricamente são máquinas hidráulicamente reversíveis; recebendo o líquido de outra fonte, podem comunicar movimento de rotação ao eixo, daí poderem funcionar nos circuitos que acabamos de mencionar. Recebem então o nome de motores hidráulicos.

São empregados para líquidos de viscosidade até mesmo superior a 50.000 SSU. Os óleos de elevada viscosidade, em geral, são aquecidos para serem bombeados com menores perdas de escoamento nos encanamentos e, portanto, com menor consumo de energia.

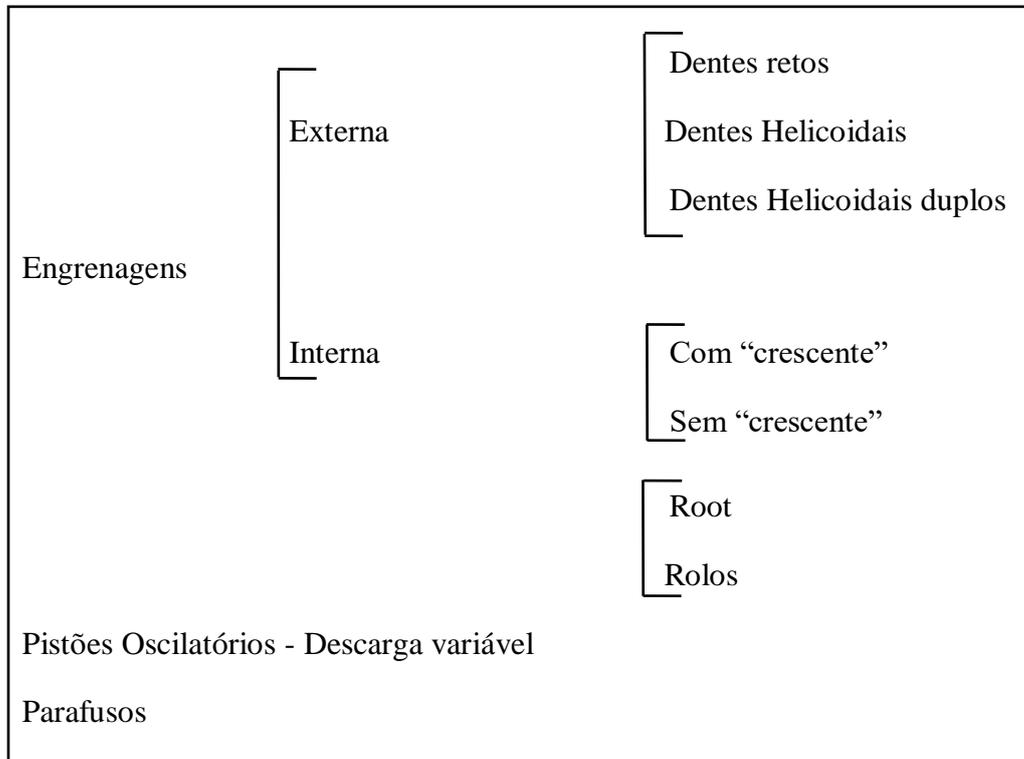
As bombas rotativas são, via de regra, auto-escorvantes e adequadas à serviços com altura estática de aspiração relativamente elevada.

3.3.1 CLASSIFICAÇÃO GERAL

– BOMBAS ROTATIVAS COM UM ROTOR



– BOMBAS ROTATIVAS COM MAIS DE UM ROTOR



– BOMBAS DE DESCARGA CONSTANTE

São as de palhetas, de engrenagens, de helicóides e outras.

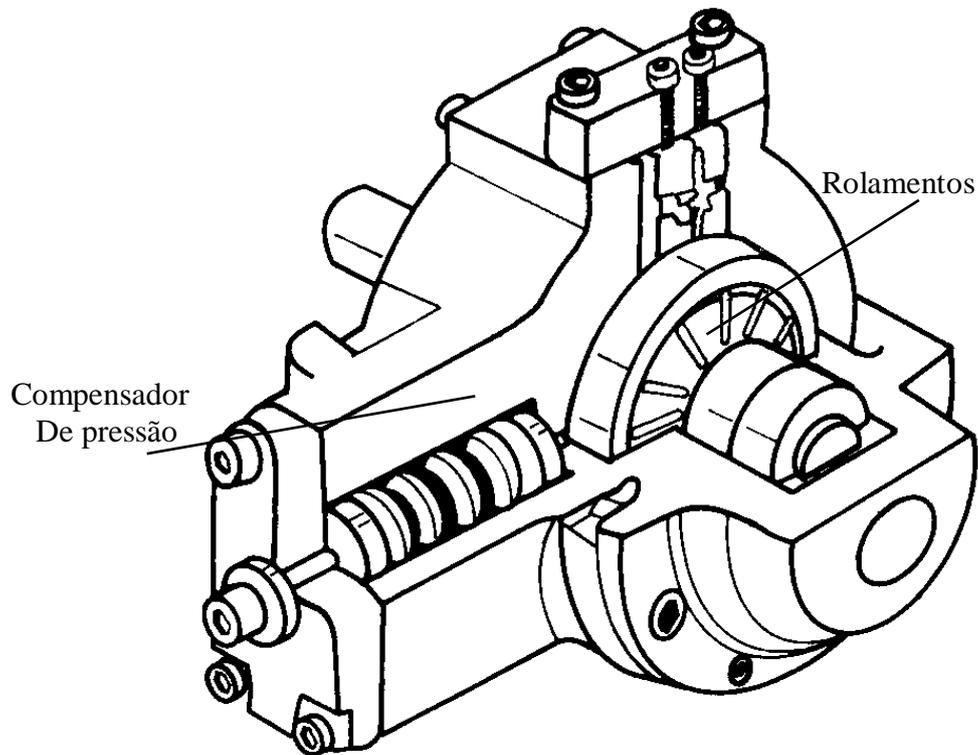
– BOMBAS DE DESCARGA VARIÁVEL

Podem ser:

- De palhetas ajustáveis. São usadas para pressões de 10 a 15 kgf/cm².
- De pistões giratórias radiais, dispostos em estrela, num mesmo plano normal ao eixo. Atendem a pressões de até 600 kgf/cm².
- De pistões múltiplos, dispostos em planos diversos. Podem atingir pressões de mais de 100 kgf/cm².
- De pistões axiais. Proporcionam vazão variável, conforme as condições exigidas pelo sistema.

Como dissemos, essas bombas podem ser usadas como motores hidráulicos.

Modificando-se a excentricidade do rotor, variará a descarga, de modo que essas bombas são usadas também como bombas de descarga variável. Esse deslocamento pode ser feito manualmente, ou automaticamente, por comando hidráulico.



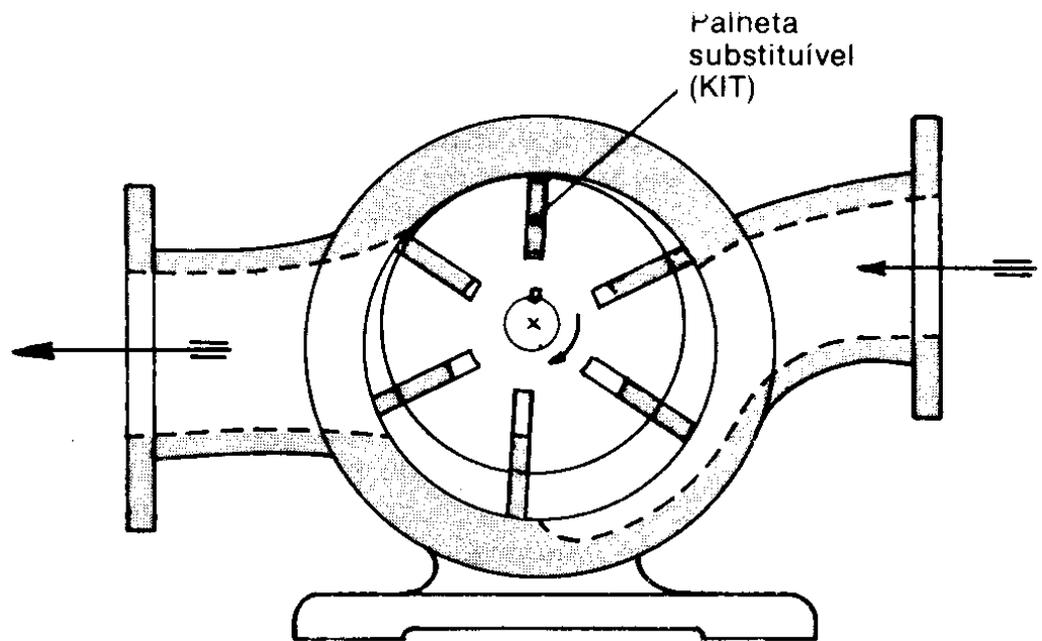
Compensador de pressão (dispensa válvula de alívio)

Fig.55

– BOMBAS DE PALHETAS DESLIZANTES (PALHETAS NO ROTOR)

As bombas de palhetas deslizantes são muito usadas para alimentação de caldeiras. São auto-aspirantes e podem ser empregadas também como bombas de vácuo. Nos comandos hidráulicos, bombeiam óleo até pressões da ordem de 175 kgf/cm^2 , mas em geral a pressão obtida com as bombas de palhetas varia de 7 a 20 kgf/cm^2 . Giram com rotações entre 20 e 500 rpm , e as vazões podem variar de 3 a $20 \text{ m}^3/\text{h}$, havendo bombas com vazões até maiores.

As palhetas deslocam-se no interior de ranhuras de um cilindro giratório e são trocadas com facilidade, quando gastas.

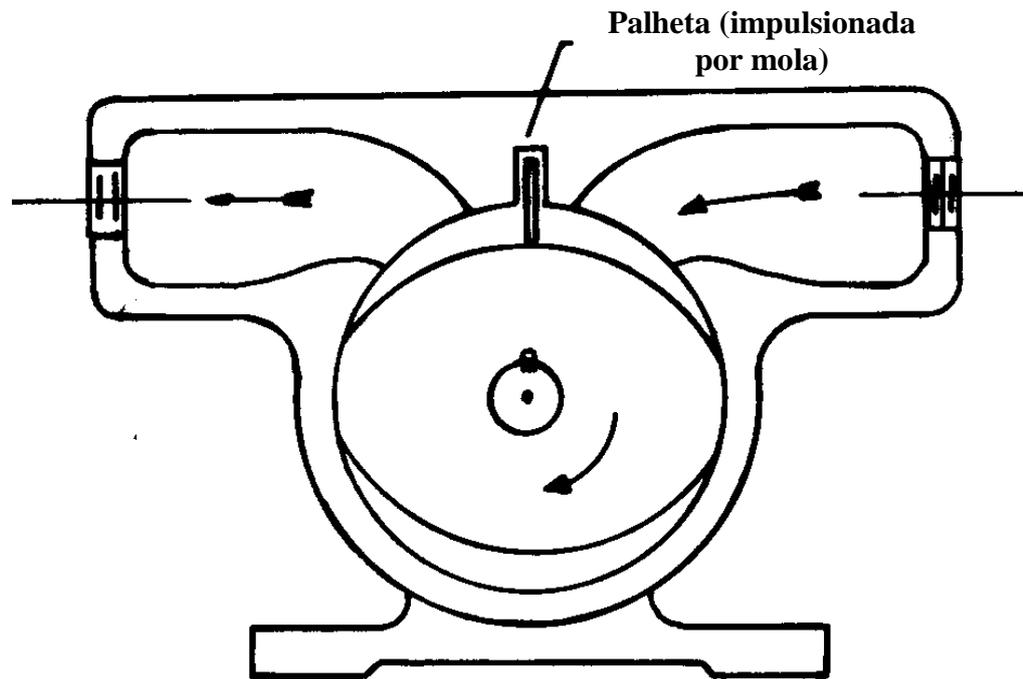


De palhetas deslizantes(no rotor)

Fig.56

– BOMBAS DE PALHETA NO ESTATOR

Possuem um cilindro giratório elíptico que desloca uma palheta que é guiada por uma ranhura na carcaça da bomba. O peso próprio da palheta, auxiliado pela ação de uma mola, faz com que a palheta mantenha sempre contato com a superfície do rotor elíptico, proporcionando o escoamento, conforme indica a figura abaixo.



Palheta deslizante no Estator

Fig.57

– BOMBAS DE PISTÃO RADIAL

O eixo motor possui dois excêntricos defasados de 180° que movimentam, cada qual, um tambor contendo um êmbolo que se desloca num pino rotativo articulado. Ao girar o tambor, o êmbolo oscila, ora subindo ora baixando, funcionando como uma válvula de controle do líquido, da boca de aspiração até a de recalque da bomba.

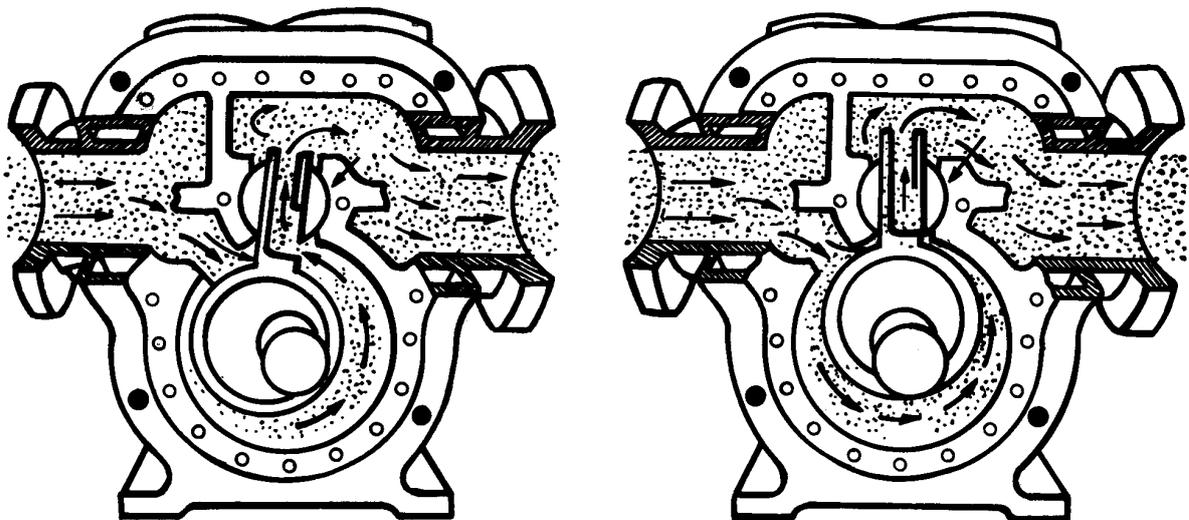
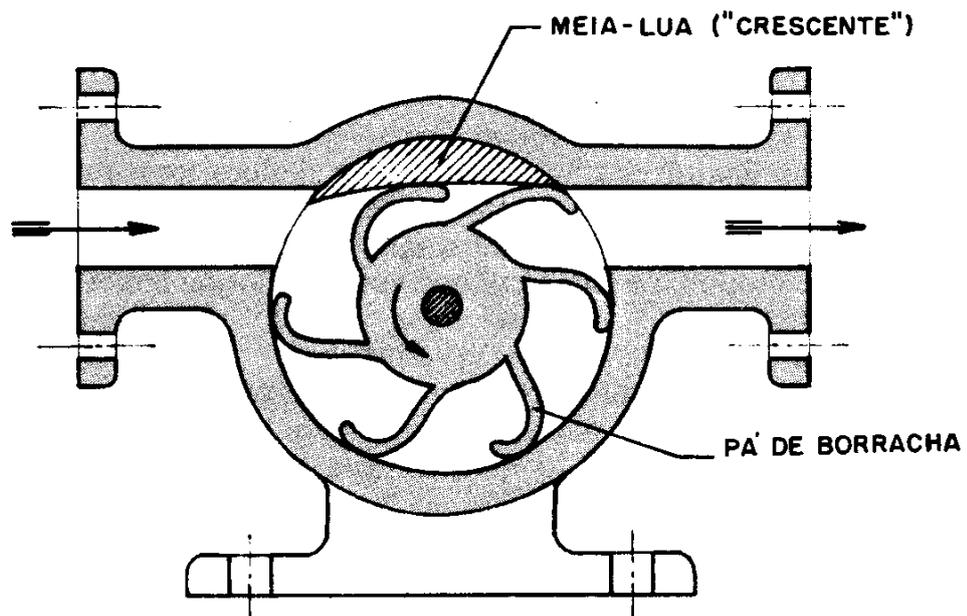


Fig.58: Bomba de Pistão Radial (em corte)

– BOMBAS DE PALHETAS FLEXÍVEIS

O rotor possui pás de borracha de grande flexibilidade, que, durante o movimento de rotação, se curvam, permitindo que entre duas delas seja conduzido um volume de líquido da boca de aspiração até a de recalque. Devem girar com baixa rotação, e a pressão que alcançam é reduzida. Na parte superior interna da carcaça existe um crescente para evitar um retorno do líquido ao lado da aspiração. (figura a seguir).

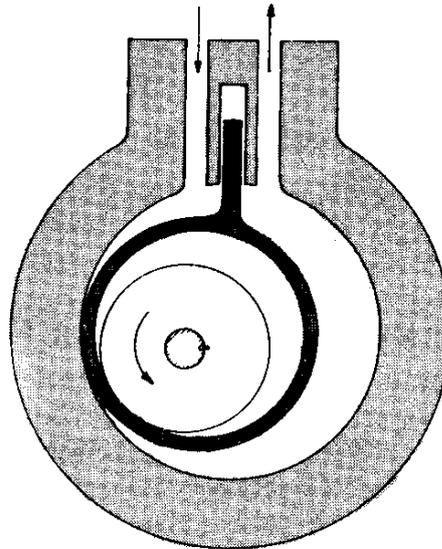


Bombas de palhetas flexíveis

Fig.59

– BOMBAS DE GUIAS FLEXÍVEIS

Um excêntrico desloca uma peça tubular (“camisa”) tendo em cima uma palheta guiada por uma ranhura fixa. A figura a seguir mostra o sentido de escoamento do líquido quando o eixo gira no sentido anti-horário.



Bomba de guia flexível

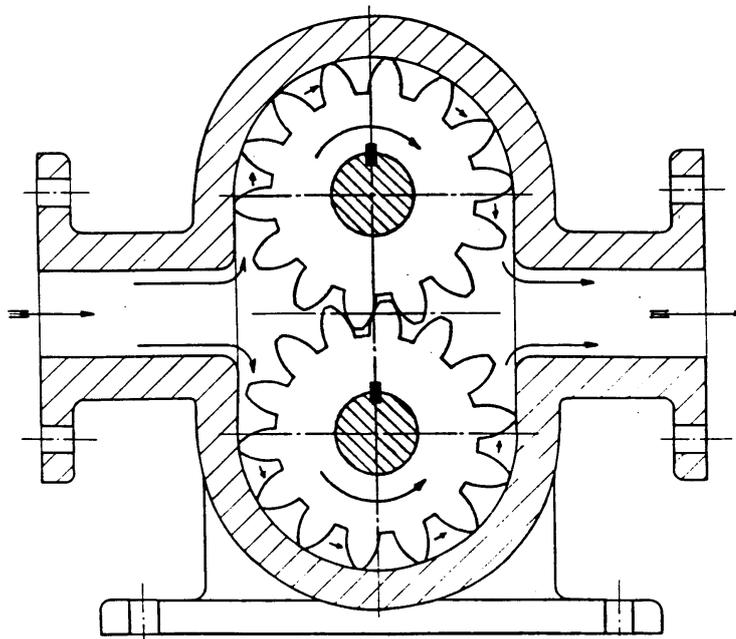
Fig.59

3.3.2 BOMBAS DE MAIS DE UM ROTOR

Faremos referencia aos tipos mais importantes.

– BOMBAS DE ENGRENAGENS EXTERNAS

Destinam-se ao bombeamento de substâncias líquidas e viscosas, lubrificantes ou não, mas que não contenham partículas ou corpos sólidos granulados.



Bomba de engrenagens

Fig.60

Quando as rodas giram, o líquido à bombear penetra no espaço entre cada dois dentes que se encontram do lado da aspiração e é aprisionado e conduzido até a boca de recalque da bomba. A comunicação na zona central entre o recalque e a aspiração se encontra fechada pelo contato entre os dentes que se acham engrenados.

A descarga, as alturas de aspiração e de recalque dependem consideravelmente das condições de engreno, das folgas previstas e da precisão da usinagem.

Em bombas de pequeno porte para óleo, a transmissão do movimento de um eixo ao outro se faz pelo engreno das rodas dentadas da própria bomba, o que sacrifica sua durabilidade, embora as propriedades do óleo atenuem muito o desgaste. Em geral, porém, as rodas são chaveadas aos eixos, e estes recebem outras rodas dentadas cujo engreno faz as rodas da bomba girarem sem que seus dentes tenham contato direto. A

roda dentada que transmite potência e a que recebe são colocadas numa caixa onde se processa adequada lubrificação. (engrenagens sincronizadoras).

Os dentes podem ser retos ou helicoidais quando são helicoidais, ocorre um esforço longitudinal na ação de engrenamento, paralelamente ao eixo.

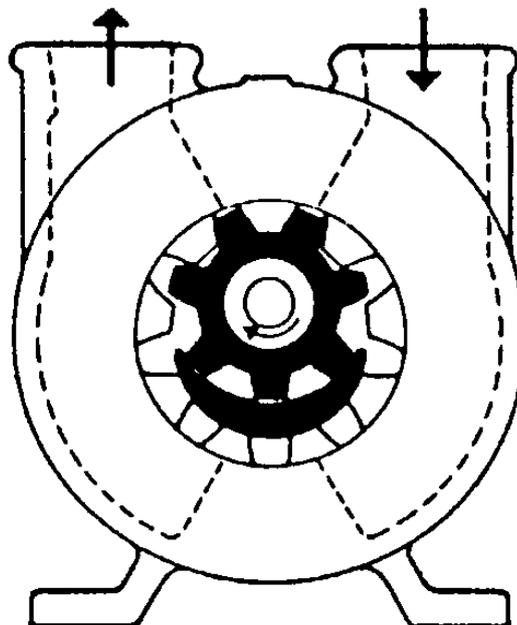
Pode-se anular esse esforço, que se transmite à mancais de escora, adotando-se rodas dentadas helicoidais duplas. Para o bombeamento de líquidos que se solidificam quando não aquecidos, os fabricantes produzem modelos em que a carcaça da bomba é encamisada para poder ser aquecido o líquido com água quente ou, mais comumente com vapor.

Servem para o bombeamento de óleos minerais e vegetais, graxas, melações, parafinas, sabões, termoplásticos, entre outros..

Fabricam-se bombas de engrenagens para pressões de 220 kgf/cm^2 e até maiores.

– BOMBA DE ENGRENAGEM INTERNA COM CRESCENTE

Possui uma roda dentada exterior presa a um eixo e uma roda dentada livre, interna e acionada pela externa. A cada rotação do eixo da bomba, uma determinada quantidade de líquido é conduzida ao interior da bomba, enchendo os espaços entre os dentes da roda motora e da roda livre quando passam pela abertura de aspiração. O líquido é expelido dos espaços entre os dentes em direção à saída da bomba pelo engrenamento dos dentes numa posição intermediária entre a entrada e a saída.



Bomba de engrenagem interna com crescente

Fig.61

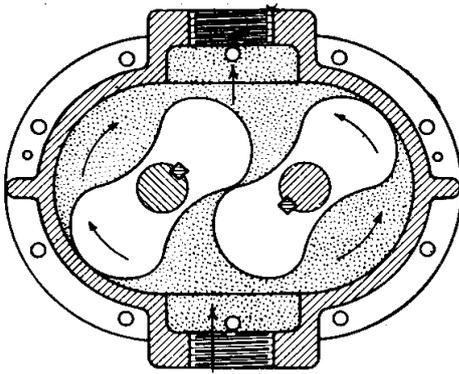
– BOMBAS DE LÓBULOS

As bombas de lóbulos têm dois rotores, cada qual com dois ou três e até quatro lóbulos, conforme o tipo.

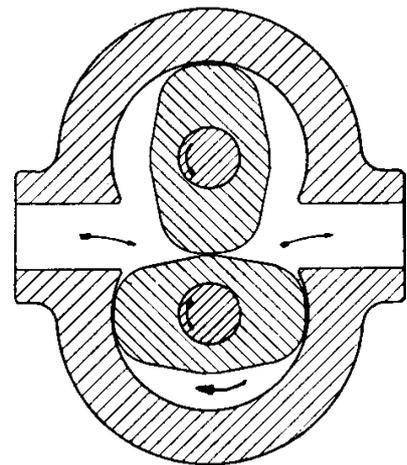
O rendimento volumétrico das bombas de três lóbulos é superior ao das de dois, e por isso as primeiras são mais usadas.

As bombas tipo ROOT possuem rotores de dois lóbulos triplos. Uma caixa de engrenagem associada à bomba evita que as superfícies dos lóbulos tenham qualquer contato entre si, ficando a missão de transmitir o movimento entre os eixos a cargo das engrenagens da caixa, as quais podem ser adequadamente lubrificadas.

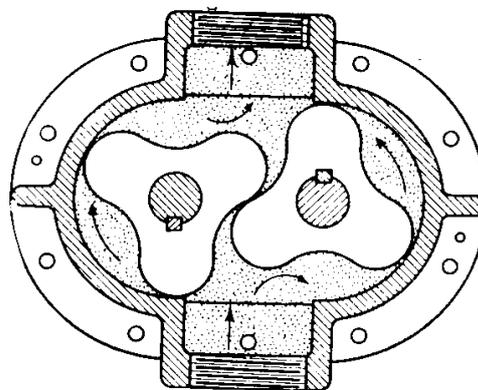
As bombas de lóbulos são usadas no bombeamento de produtos químicos, líquidos lubrificantes ou não lubrificantes de todas as viscosidades.



Bomba de lóbulos duplos
Fig.82



Bomba de lóbulos duplos,
(tipo rolo)
Fig.83



Bomba de lóbulos triplos (tipo ROOT)
Fig.62

– BOMBAS DE PISTÕES RADIAIS

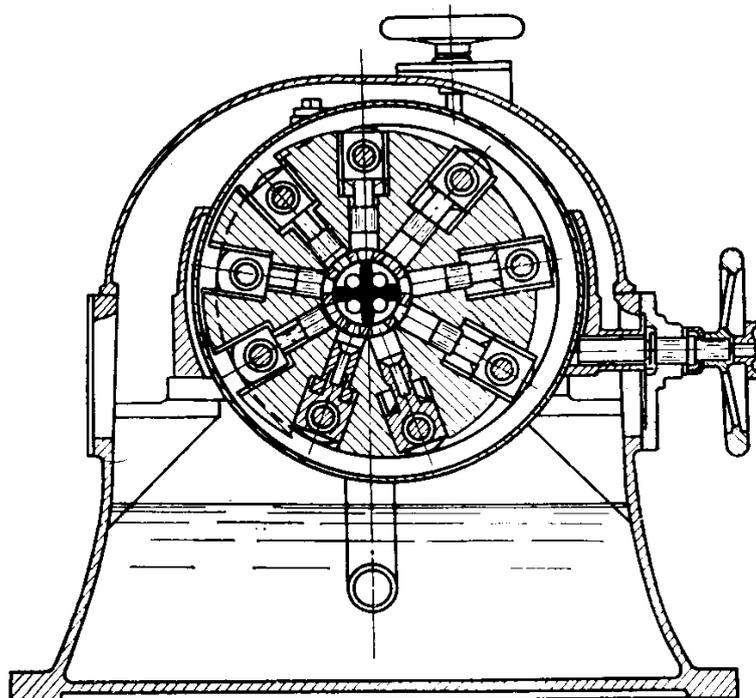
Quando se pretende uma bomba rotativa com a qual se possa variar a descarga, pode-se usar a bomba rotativa de pistões, dos tipos radiais ou axiais.

A bomba de pistões radiais, oscilatórios ou rotativos de descarga variável consta de um tambor excêntrico ou rotor contendo orifícios cilíndricos onde são colocados os pistões e que gira no interior de uma caixa em torno de um pivô distribuidor fixo.

Ao girar o rotor, a força centrífuga mantém os pistões em contato com a parte cilíndrica interna da carcaça, quando um pistão se aproxima do centro, descarrega líquido no pivô distribuidor central, e quando se afasta, forma o vácuo necessário para a aspiração.

Os canais de aspiração e recalque no pivô distribuidor são independentes, operando em sincronia com o rotor.

Alterando-se a excentricidade do rotor, consegue-se a variação de descarga desejada.



Bomba de pistões radiais

Fig.63

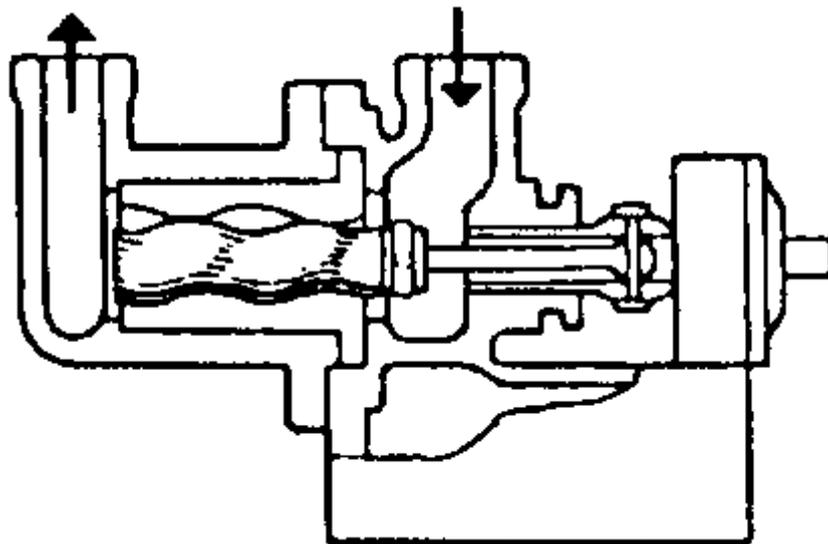
– BOMBAS DE PARAFUSOS

As bombas de parafusos ou de helicóides, constam de dois ou três “parafusos” helicoidais, conforme o tipo, e equivalem teoricamente a uma bomba de pistão com curso infinito.

As bombas de parafusos conduzem líquidos e gases sem impurezas mecânicas e conseguem alcançar pressões de até 200 kgf/cm^2 . Giram com elevada rotação (até 10.000 rpm) e têm capacidade de bombear de 3 até $300 \text{ m}^3/\text{h}$. Os dentes não transmitem movimento para não se desgastarem. O movimento se realiza com engrenagens localizadas em caixa com óleo ou graxa para lubrificação. São silenciosas e sem pulsação.

– BOMBA DE PARAFUSO

A bomba de parafuso único ou bomba helicoidal de câmara progressiva, concebida pelo francês Moireau, consta de um rotor que é um parafuso helicoidal que gira no interior de um Estator elástico também com forma de parafuso, mas com perfil de hélice dupla. (figura abaixo).



Parafuso (rotor helicoidal)

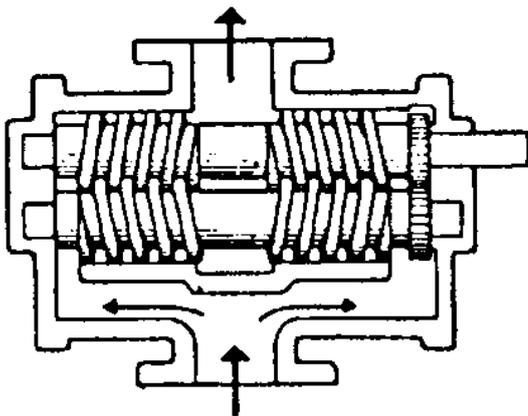
Fig.64

– BOMBAS DE FUSO

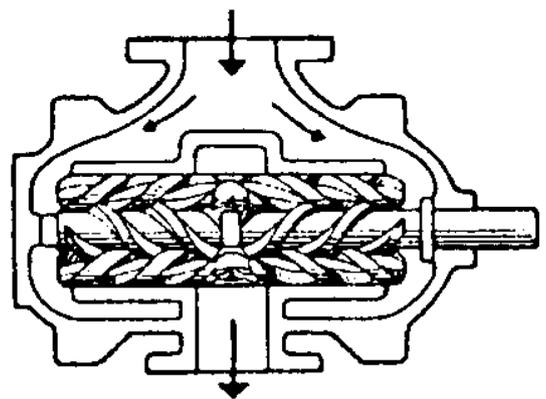
Uma das modalidades de bombas de parafuso de grande número de aplicações, principalmente em indústria, é a bomba de fuso. O formato e o traçado dos dentes, helicoidais retangulares caracterizam as bombas de fuso, embora outras bombas de parafusos com dentes de outros perfis sejam designadas por esse nome.

As bombas de fuso, constam de dois fusos; um de acionamento de passo duplo e um conduzido, de passo triplo, e que giram encaixados um no outro com uma pequena folga, alojados em uma carcaça.

Graças ao perfil especial dos helicóides, formam-se câmaras idealmente vedadas, cujas unidades de volume são movimentadas num fluxo contínuo através da rotação dos fusos, em direção axial, do lado da aspiração para o lado do recalque, sem esmagamento, trituração ou turbulência. Essas bombas de fuso podem ser fornecidas com ou sem válvula de segurança, a qual, neste caso, deverá ser instalada pelo montador. As bombas de fuso são silenciosas e sem pulsação.



Bombas de dois fusos
Fig.65



Bomba de três fusos
Fig.66

Nas bombas de três fusos, o rotor central é um helicóide de passo duplo e os rotores helicoidais laterais são conduzidos pelo fuso central, ocorrendo rolamento sem escorregamento das superfícies dos helicóides em contato.

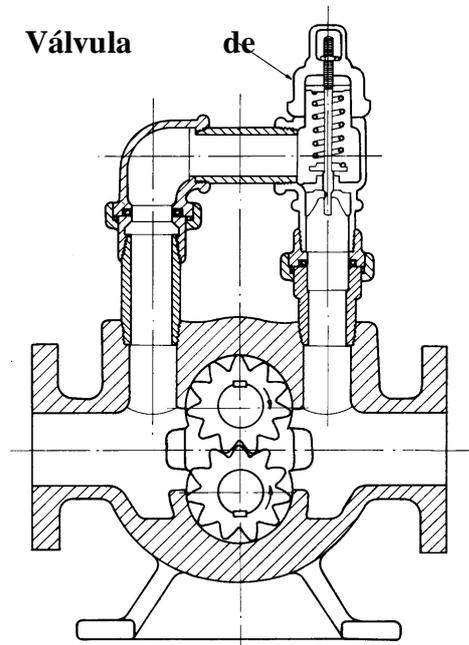
Usam-se as bombas de fuso para bombeamento de substâncias que possuem ação lubrificante ou meio lubrificante, viscosas ou não, desde que não contenham substâncias sólidas abrasivas.

– APLICAÇÕES DAS BOMBAS DE FUSOS

- óleo lubrificante	- óleo para engrenagens
- óleo combustível	- óleo diesel
- óleo cru	- óleos vegetais
- gasolina	- querosene
- asfalto	- piche
- solventes	- parafina
- produtos químicos	- produtos alimentícios

– VÁLVULA DE ALÍVIO

A instalação de bomba rotativa deve ter, no início do recalque, uma válvula de alívio que limite à pressão a um valor pré-determinado. A figura abaixo mostra uma bomba rotativa provida de válvula de alívio regulável para pressões de até 300 psi e líquidos de viscosidade moderada.



Bomba de engrenagens com válvula de alívio

Fig.67

– EMPREGO DAS BOMBAS ROTATIVAS

São muito empregadas, pois podem bombear grande variedade de líquidos numa ampla faixa de pressões, descargas, viscosidade e temperaturas. Não podem funcionar com líquidos que contêm substâncias em suspensão ou partículas abrasivas, uma vez que, sendo as folgas mínimas, a bomba ficaria sujeita a uma paralisação ou a um rápido desgaste.

Apresentam as vantagens de proporcionarem vazão uniforme; serem auto-aspirantes; dimensões reduzidas, exigindo fundações relativamente pequenas; elevado rendimento e pouca vibração. Em contra partida, desgastam-se rapidamente se houver substâncias abrasivas no líquido; o rendimento varia de modo acentuado com a viscosidade do líquido; seu custo sofre as conseqüências da necessidade de precisão de usinagem e de folgas muito pequenas.

As bombas rotativas são empregadas em:

- Sistemas de lubrificação sob pressão;
 - Processos químicos;
 - Comandos e controles hidráulicos de máquinas operatrizes e máquinas de terraplenagem;
 - Transmissões hidráulicas funcionando como máquinas geratrizes ou como motores hidráulicos;
 - Bombeamento de petróleo e de gases liquefeitos de petróleo e nas instalações petroquímicas;
 - Indústrias de alimentos, laticínios e bebidas;
 - Instalações de queimadores de óleo;
 - Indústrias de cosméticos e cerâmicas;
 - Construção naval;
 - Indústria de papel e celulose.
-

4. BIBLIOGRAFIA

Equilibragem dos Empuxos Axial e Radial

LIMA, EPAMINONDAS PIO CORREIA. A Mecânica das Bombas. 1984. Gráfica Universitária. Salvador.

MATOS, EDSON EZEQUIEL. Bombas Centrífugas.

MEDICE, MÁRIO. Le Pompe. Ulrico Hoepli, Milão, 1967.

PFLEIDERER, CARL. Bombas Centrífugas Y Turbocompressores. Editorial Labor S.A., 1965.

ZAPPA, GODOFFREDO. Le Pompe Centrifughe. Cálculo e Construzione. Ed. Ulrico Hoepli, Milão, 1934.

ZUBICARAY, MANOEL VIEJO. Bombas. Teoria, Diseño Y Aplicaciones. Ed. Limusa - Wiley.

Bombas Alternativas

Bombas - Ministério da Marinha - Diretoria de Engenharia da Marinha - Publicação ITENA-47, 1970.

Bombas de diafragma RO-TAU para líquidos corrosivos. Catálogo da OMEL S.A. Ind. e Com.

Bomba dosadora A-30. GRUMAT. Ind. e Com. Eletro-Eletrônica Mecânica Ltda.

Bombas dosadoras B & L. Bran & Luebbe do Brasil Ind. e Com. Ltda.

Bombas dosadoras GIROMATO e Simplex/Dúplex A3-20 da Companhia Metalúrgica Barbará.

Bombas GERA para poços rasos e profundos, com pistão simples e pistão duplo.

Bombas hidráulicas "UNIDAS" de pistões. Mecânica "UNIDAS" Ltda.

BUSE, FRED. Power Pumps. In: Pump Handbook. McGraw-Hill Book Co., 1976.

FREEBOROUGH, ROBERT M. Steam Pumps. In: Pump Handbook. McGraw-Hill Book Co., 1976.

HICKS, TYLER G. e EDWARDS, T. W. Pump Application Engineering. McGraw-Hill Book Co. 1971.

HOTSY SHARK Plunger Pumps. Fabricadas no Brasil por SCHWING SIWA Equipamentos Ind. Ltda.

Hydraulic Institute Standard for Centrifugal, Rotary & Reciprocating Pumps. 1983.

KHETAGUROV, M. Marine Auxiliary Machinery and Systems. Peace Publishers. Moscou.

Máquinas e Metais — Março de 1985.”O corte com jato de água”.

YEAPLE, FRANKLIN D. Hydraulic and Pneumatic Power and Control. McGraw-Hill Co. 1976

Bombas Rotativas

Bombas de engrenagens de alto desempenho — Catálogo da Hydraquip Hidráulica S.A.

Bombas de Palhetas Rotativas — Ley Bold - Heraeus Ltda., São Paulo.

Bombas MONO — Catálogo da Mono Pumps do Brasil — Industrial e Comercial Ltda.

Bombas NEMO — Catálogo da NETZSCH do Brasil.

Bombas Rotativas de engrenagens helicoidais dupla, tipo GR. Worthington (catálogos).

Bombas de vazão variável — tipos de palhetas. Racine Hidráulica S.A. (catálogos).

Bombas Rotativas de Engrenagens Helicoidais TERMOAIRE, modelo “RODES”. Construções Mecânicas Termoaire Ltda.(catálogo).

Bombas Hidráulicas de Engrenagens. Parker Hannifin do Brasil Ind. e Comércio Ltda. (catálogo).

Bombas de Engrenagens Linha HEROIL — HERO Equipamentos Industriais Ltda.

Bomba Rotativa HPT-1 e HPT-2 e Bombas de Engrenagens HPT—Tipos M-10-50-60-75-100. Haupt S. Paulo S.A.

Bombas de Engrenagens RWH. Remus W. Hoff & Cia. Ltda.

HICKS, TYLER G. e EDWARDS T. W. Pump Application Engineering, Mc-Graw-Hill Book. Co.

Hydraulic Institute Standards for Centrifugal, Rotary & Reciprocating Pumps. 1983.

KRISTAL, FRANK. Pumps Selection, Installation. Mc-Graw-Hill Book. Co.

MATAIX, CLAUDIO. Mecânica de los fluidos y Máquinas Hidráulicas. Harper & Row Publishers Inc. 1970.

KHETAGUROV, M. Marine Auxiliary Machinery and Systems. Peace Publishers. Moscow.

Machines Hydraulics. Feuilles de Cours Illustrés B. Th. Bovet. Laboratoire de Machines Hydrauliques. École Polytechnique de L’Université de Lausanne.

POMPER, V. Mandos Hidráulicos em las máquinas herramientas. Editorial Blume, Barcelona, 1969.

Rexroth Hidráulica Ltda. Boletins Informativo-Técnicos.

Rotary Pumps — Viking Pump Company. Cedar Fall. Iowa. USA.

- GREIN, H. e WYSS, Escher, Cavitation - an overview, Sulzer Research Number, Zurich, 1974.
- EISENBERG, Philip, Film notes for cavitation Hydraulics Incorporated Education Development Center, Encyclopedia Britannica Educational Center, 1969.
- STEPANOFF, A. J., Centrifugal and axial flow pumps, John Wiley & Sons, Inc. 1957.
- WATSON, R. M., Cavitation in centrifugal pumps - some of the less well known factors, Worthington Pump and Machinery Corporation.
- SHEPHERD, D. G., Principles of turbomachinery, New York, MacMillan Company, 1956.
- KNAPP, R. P., DAILY, J. W. and HAMMIT, F. G., Cavitation, McGraw-Hill Book Company, 1970.
- WHEELER, W. H., Indentation of metals by cavitation, ASME Trans., Series D, 82,N1, 1960.
- PEARSALL, I. S., Cavitation, London, Mills & Boon Limited, 1972.
- WRIGHT, Maynard K., Design comments and experimental results for cavitation - resistant inducers up to 40.000 suction specific speed.
- ROSS C. C. and BANERIAN G., Some aspects of high suction specific speed pump inducers.
-