

3. BOMBAS - CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO

Instalação de Bombeamento Típica

As instalações de bombeamento podem apresentar em sua forma, dependendo de seu objetivo e importância, variações as mais diversas.

Contudo e visando, principalmente, um estudo sistematizado das mesmas, apresentamos, com a respectiva nomenclatura, o esquema de uma simples e típica instalação de bombeamento (Fig. 3.1).

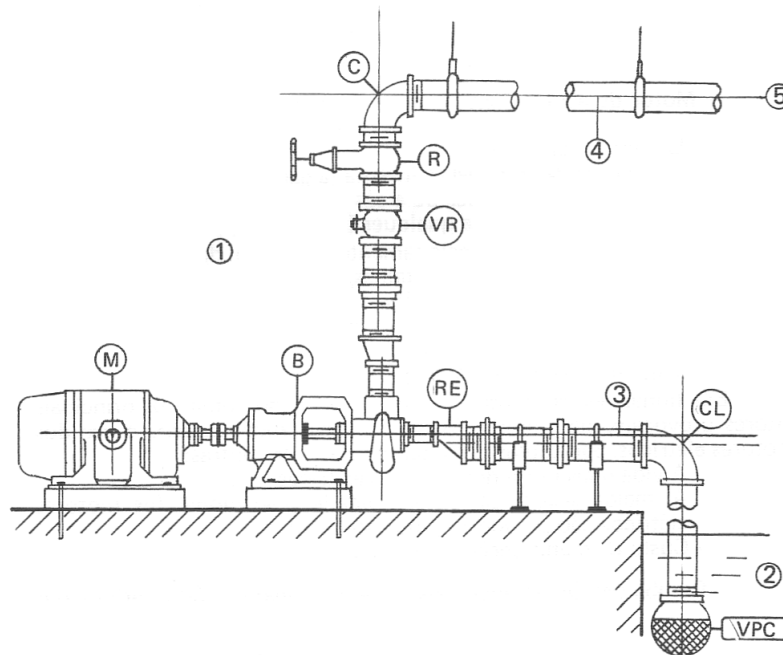


Figura 3.1 – Esquema de uma instalação de bombeamento típica.

No esquema da Fig. (3.1):

- (1) Casa das Bombas
 - (M) – Motor de acionamento;
 - (B) – Bomba.
- (2) Poço, manancial ou reservatório de sucção

- (3) Linha de sucção
(VPC) – Válvula de pé com crivo;
(CL) – Curva longa de 90°;
(RE) – Redução excêntrica.

- (4) Linha de recalque
(VR) – Válvula de retenção;
(R) – Registro;
(C) – Curvas ou joelhos (ou cotovelos).

- (5) Reservatório de recalque

Superficialmente, visando uma boa concepção preliminar do todo e mesmo porque estes assuntos voltarão a ser abordados, com maiores detalhes, nos capítulos seguintes:

- **Casa das bombas (1)**: edificações próprias destinadas a abrigar o conjunto motor-bomba.
- **Motor de acionamento (M)**: órgão encarregado do acionamento da bomba, podendo ser:
 - Um motor elétrico;
 - Um motor de combustão interna (a gasolina ou diesel);
 - Uma turbina hidráulica ou a gás;
 - Uma tomada de força qualquer (de tratores, por exemplo).

A escolha do órgão de acionamento depende de vários fatores, conforme veremos, em maiores detalhes, oportunamente. A guisa de informação, entre outros, podemos citar:

- A disponibilidade e o custo da energia;
- O grau de mobilidade desejado;
- Segurança e comodidade operacional.

Em linhas gerais, contudo, a conjugação ou soma dos principais fatores provocam, na maioria dos casos, uma tendência para o uso dos motores elétricos. São causas desta tendência, entre outras:

- A vida mais longa dos motores elétricos;
 - A maior segurança e comodidade operacional (os motores elétricos não provocam poluição local);
 - Custo de manutenção mais baixo.
- **Bomba (B)**: Órgão encarregado de succionar o fluido, retirando-o do reservatório de sucção e energizando-o através de seu rotor o que impulsiona-o para o reservatório de recalque.
 - **Válvula de pé com crivo (VPC)**: Instalada junto ao pé da tubulação de sucção, é uma válvula unidirecional que só permite a passagem do fluido no sentido ascendente e que, com o desligamento do motor de acionamento, mantém a carcaça da bomba e a tubulação de sucção cheia do fluido recalçado, impedindo o seu retorno ao reservatório de sucção. Diz-se, nestas circunstâncias, que a válvula de pé com crivo mantém a bomba escorvada (carcaça da bomba e tubulação de sucção cheia de fluido).

O posicionamento desta válvula no reservatório inferior deverá impedir tanto a sucção de partículas sólidas depositadas no fundo do poço, bem como evitar que, com o funcionamento, seja a mesma descoberta, passando a bomba a aspirar ar.

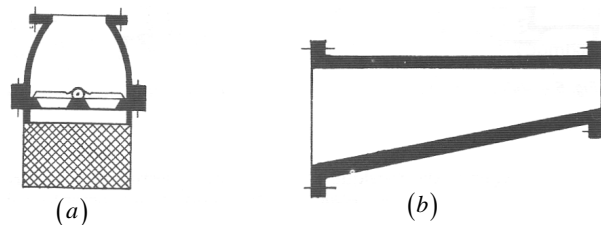


Figura 3.2 – Válvula de pé com crivo (a) e redução excêntrica (b).

- **Redução excêntrica (RE):** Redução que liga o final da tubulação de sucção à boca de entrada da bomba, de diâmetro, normalmente, menor. Com a excentricidade visa-se evitar a formação de bolsas de ar, à entrada da bomba, o que estrangula a secção de entrada e dificulta o funcionamento normal da bomba. São dispensáveis em instalações com linhas de sucção de pequeno diâmetro, acontecendo, normalmente, em instalações com diâmetro de sucção superiores a 4" (4 polegadas).
- **Válvula de retenção (VR):** Válvula também unidirecional instalada à saída da bomba e antes do registro de recalque. Tem as seguintes funções:
 - Impedir que o peso da coluna de recalque seja sustentado pelo corpo da bomba, pressionando-o e provocando vazamento no mesmo.
 - Impedir que, com um defeito na válvula de pé e entrando a tubulação de recalque por baixo do reservatório superior, haja o refluxo do fluido, fazendo a bomba funcionar como turbina e assim, com o disparo do rotor, atingir velocidades perigosas, provocando danos na bomba.
 - Possibilitar, através de um dispositivo chamado "by-pass", a escorva automática da bomba, evidentemente, após se ter sanado o defeito da válvula de pé que provocou a perda da escorva.
- **Registro de recalque (R):** Acessório destinado a controlar a vazão recalçada, através do seu fechamento e abertura. Deve vir logo após a válvula de retenção e tem tipos diferentes sendo, entretanto, o registro de gaveta o mais comum.

Além dos acessórios descritos, outros, dependendo do tipo e importância da instalação, serão necessários. Entre estes podemos mencionar as ventosas (para retirada do ar das tubulações) e as válvulas anti-golpe de aríete.

Classificação das Máquinas Geratrizes ou Bombas

São aquelas que recebem trabalho mecânico, geralmente fornecido por uma máquina motriz, e o transforma em energia hidráulica, comunicando ao líquido um acréscimo de energia sob as formas de energia potencial e cinética. Pertencem a esta categoria de máquinas todas as bombas hidráulicas.

Definição Bombas são máquinas geratrizes cuja finalidade é realizar o deslocamento de um líquido por escoamento. Sendo uma máquina geratriz, ela transforma o trabalho mecânico que recebe para seu funcionamento em energia, que é comunicado ao líquido sob as formas de energia de pressão e cinética. Alguns autores chamam-nas de *máquinas operatrizes hidráulicas*, porque realizam um trabalho útil específico ao deslocarem um líquido. O modo pelo qual é feita a transformação do trabalho em energia hidráulica e o recurso para cedê-la ao líquido aumentando sua pressão e/ou sua velocidade permitem classificar as bombas em dois grandes grupos apresentados pelo “Hydraulic Institute” (Fig. 3.3):

- Bombas de deslocamento positivo, hidrostáticas ou volumógenas (volumétricas);
- Turbobombas chamadas também hidrodinâmicas ou rotodinâmicas ou simplesmente dinâmicas.

As bombas são utilizadas nos circuitos hidráulicos, para converter energia mecânica em energia hidráulica. A ação mecânica cria um vácuo parcial na entrada da bomba, o que permite que a pressão atmosférica force o fluido do tanque, através da linha de sucção, a penetrar na bomba.

A bomba passará o fluido para a abertura de descarga, forçando-o através do sistema hidráulico.

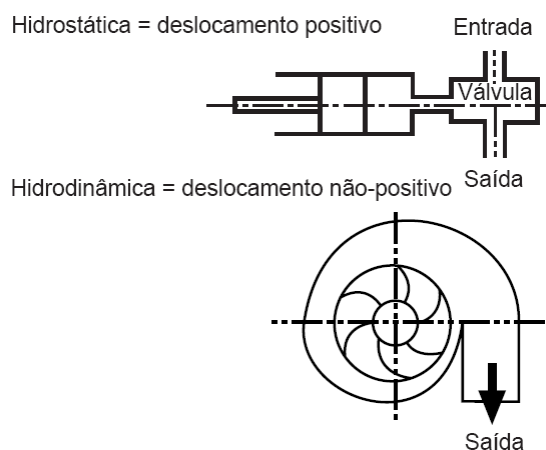


Figura 3.3 – Classificação dos tipos de bombas.

As bombas hidráulicas são classificadas como positivas (fluxo pulsante) e não-positivas (fluxo contínuo).

Especificação de Bombas: As bombas são, geralmente, especificadas pela capacidade de pressão máxima de operação e pelo seu deslocamento, em litros por minuto, em uma determinada rotação por minuto.

Relações de Pressão: A faixa de pressão de uma bomba é determinada pelo fabricante, baseada na vida útil da bomba.

Obs.: Se uma bomba for operada com pressões superiores às estipuladas pelo fabricante, sua vida útil será reduzida.

Bombas Volumétricas (Hidrostáticas), ou de Deslocamento Positivo

Fornecem determinada quantidade de fluido a cada rotação ou ciclo. A movimentação do fluido é causada diretamente pela ação do órgão de impulsão da bomba que obriga o fluido a executar o mesmo movimento a que está sujeito este impulsor (êmbolo, engrenagens, lóbulos, palhetas). Dá-se o nome de volumétrica porque o fluido, de forma sucessiva, ocupa e desocupa espaços no interior da bomba, com volumes conhecidos, sendo que o movimento geral deste fluido dá-se na mesma direção das forças a ele transmitidas, por isso a chamamos de deslocamento positivo. As Bombas Volumétricas dividem-se em:

- (a) Êmbolo ou Alternativas (pistão, diafragma, membrana);
- (b) Rotativas (engrenagens, lóbulos, palhetas, helicoidais, fusos, parafusos, peristálticas).

Bombas Hidrodinâmicas (Turbobombas)

São bombas de deslocamento não-positivo, usadas para transferir fluidos e cuja única resistência é a criada pelo peso do fluido e pelo atrito (Fig. 3.4).

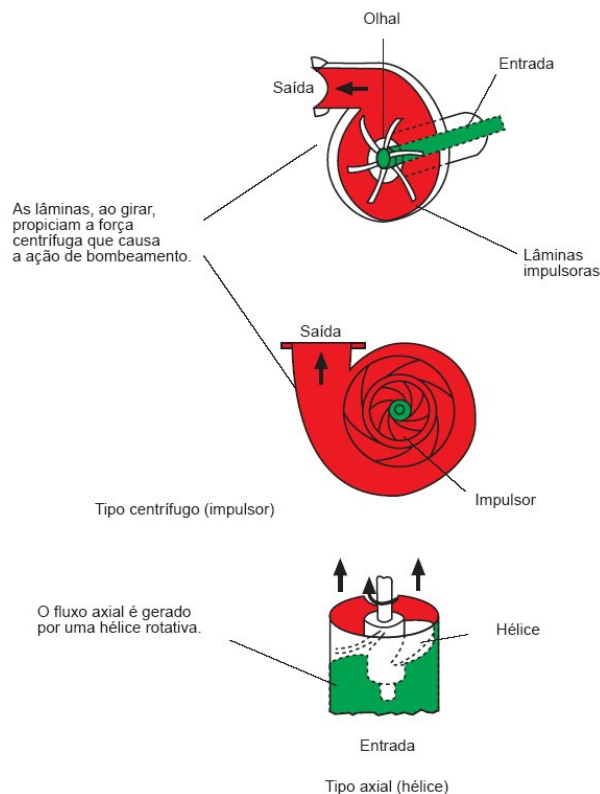


Figura 3.4 – Características construtivas das turbobombas.

Nas turbobombas a movimentação do fluido ocorre pela ação de forças que se desenvolvem na massa do mesmo, em consequência da rotação de um eixo no qual é acoplado um disco (rotor, impulsor) dotado de pás (palhetas, hélice), o qual recebe o fluido pelo seu centro e o expulsa pela periferia, pela ação da força centrífuga, daí o seu nome mais usual (**Bomba Centrífuga**).

Import.: Essas bombas raramente são usadas em sistemas hidráulicos, porque seu poder de deslocamento de fluido se reduz quando aumenta a resistência e também porque é possível **bloquear-se completamente** seu pórtico de saída em pleno regime de funcionamento da bomba.

3.2.1. Bombas de Deslocamento Positivo

Possuem uma ou mais câmaras, em cujo interior o movimento de um órgão propulsor comunica energia de pressão ao líquido, provocando o seu escoamento (fornecem determinada quantidade de fluido a cada rotação ou ciclo. Proporciona então as condições para que se realize o escoamento na tubulação de aspiração até a bomba e na tubulação de recalque até o ponto de utilização.

Como nas bombas hidrostáticas a saída do fluido independe da pressão, com exceção de perdas e vazamentos, praticamente todas as bombas necessárias para transmitir força hidráulica em equipamento industrial, em maquinaria de construção e em aviação são do tipo hidrostático. As bombas hidrostáticas produzem fluxos de forma pulsativa, porém sem variação de pressão no sistema.

Import.: As bombas de deslocamento positivo são indicadas em casos onde se requer vazão constante independente de variação da carga sobre a bomba e também onde o volume deve ser medido com precisão. A descarga é proporcional à velocidade do propulsor da bomba.

A característica principal desta classe de bombas é que uma partícula líquida em contato com o órgão que comunica a energia tem aproximadamente a mesma trajetória que a do ponto do órgão com o qual está em contato.

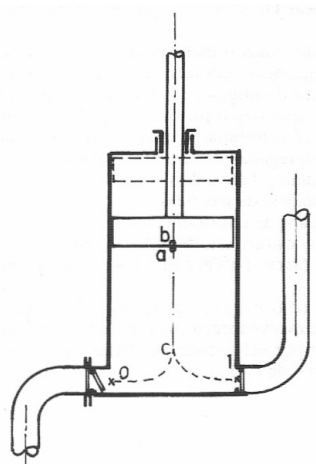


Figura 3.5 – Esquema de bomba de êmbolo.

Assim, por exemplo, na bomba de êmbolo aspirante-premente, representada pela Fig. (3.5), a partícula líquida a tem a mesma trajetória retilínea do ponto b do pistão, exceto nos trechos de concordância inicial e final $0-c$ e $c-1$. Na bomba de engrenagem (Fig. 3.6), a partícula líquida a tem aproximadamente a mesma trajetória circular que a do ponto b do dente da engrenagem, exceto nos trechos de concordância na entrada e na saída do corpo da bomba.

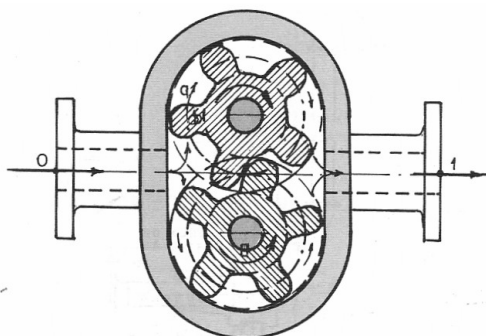
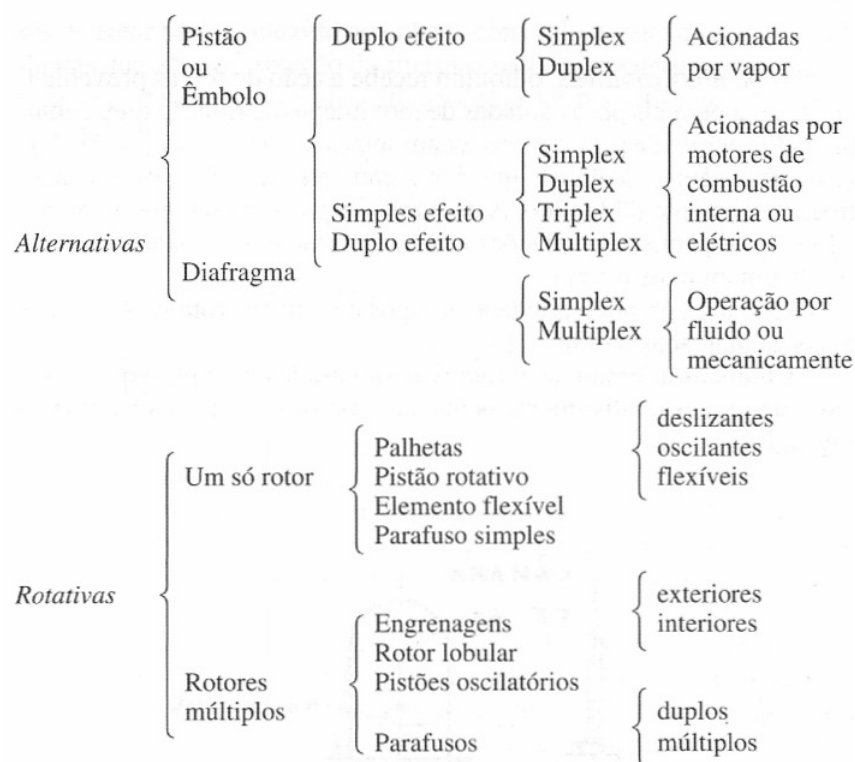


Figura 3.6 – Esquema de bomba rotativa de engrenagem.

As bombas de *deslocamento positivo* podem ser:



Nas bombas volumógenas existe uma relação constante entre a descarga e a velocidade do órgão propulsor da bomba.

Nas bombas alternativas, o líquido recebe a ação das forças diretamente de um pistão ou êmbolo (pistão alongado) ou de uma membrana flexível (diafragma).

Podem ser de:

- *Simple efeito* – quando apenas uma face do êmbolo atua sobre o líquido (Fig. 3.7).
- *Duplo efeito* – quando as duas faces atuam.

Chamam-se ainda:

- *Simplex* – quando existe apenas uma câmara com pistão ou êmbolo.
- *Duplex* – quando são dois os pistões ou êmbolos.
- *Triplex* – quando são três os pistões ou êmbolos.
- *Multiplex* – quando são quatro ou mais pistões ou êmbolos.

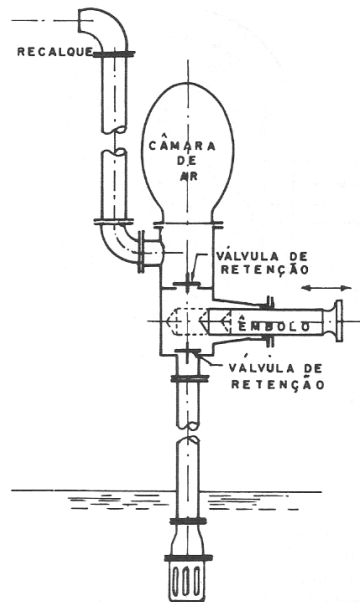


Figura 3.7 – Bomba de êmbolo de simples efeito.

Nas *bombas rotativas*, o líquido recebe a ação de forças provenientes de uma ou mais peças dotadas de movimento de rotação que, comunicando energia de pressão, provocam seu escoamento. A ação das forças se faz segundo a direção que é praticamente a do próprio movimento de escoamento do líquido. A descarga e a pressão do líquido bombeado sofrem pequenas variações quando a rotação é constante. Podem ser de um ou mais rotores.

As bombas alternativas e rotativas são usadas para pressões elevadas e descargas relativamente pequenas, conforme se pode observar na Fig. (3.8).

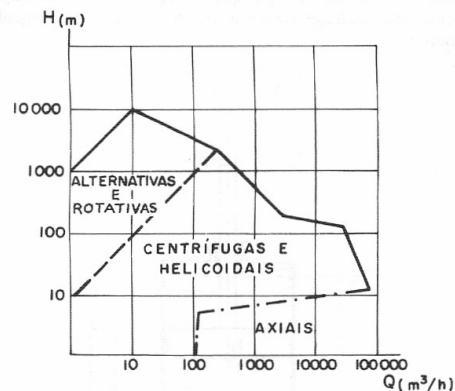


Figura 3.8 – Campo de emprego das bombas.

Existe uma grande variedade de tipos de bombas volumógenas, entre as quais as indicadas na Fig. (3.9).

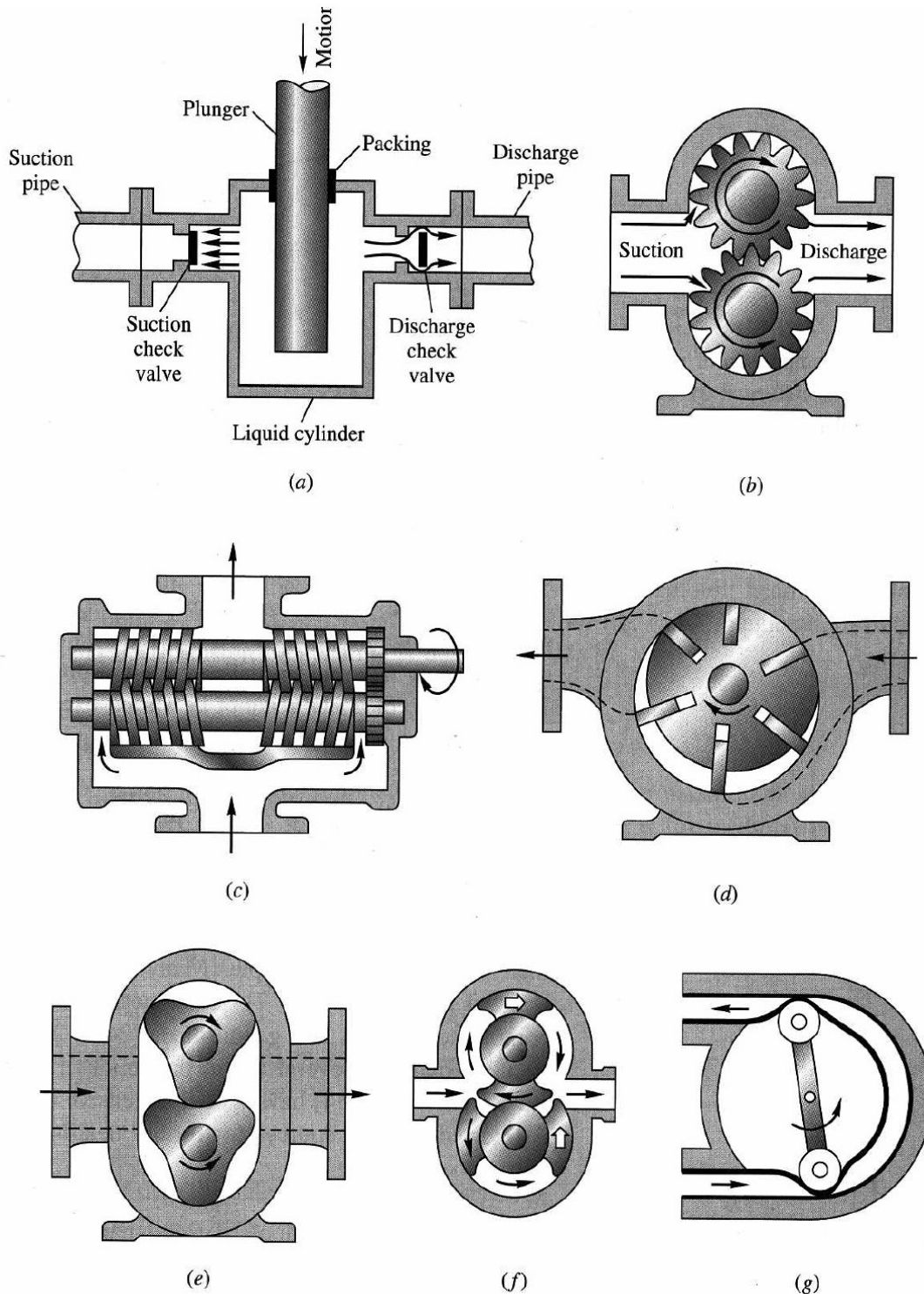


Figura 3.9 – exemplos de bombas de deslocamento positivo. (a) Bomba de êmbolo; (b) Bomba de engrenagens; (c) Bomba helicoidal; (d) Bomba de palhetas; (e) Bomba de lóbulos triplos; (f) Bomba de pistão duplo circunferencial; (g) Bomba de tubo flexível ou de rolete.

Bomba de Engrenagem

A bomba de engrenagem consiste basicamente de uma carcaça com orifícios de entrada e de saída, e de um mecanismo de bombeamento composto de duas engrenagens.

Uma das engrenagens, a engrenagem motora, é ligada a um eixo que é conectado a um elemento acionador principal. A outra engrenagem é a engrenagem movida.

No lado da entrada, os dentes das engrenagens desengrenam, o fluido entra na bomba, sendo conduzido pelo espaço existente entre os dentes e a carcaça, para o lado da saída onde os dentes das engrenagens engrenam e forçam o fluido para fora do sistema.

Uma vedação positiva neste tipo de bomba é realizada entre os dentes e a carcaça, e entre os próprios dentes de engrenamento. As bombas de engrenagem têm geralmente um projeto não compensado.

A bomba de engrenagem que foi descrita acima é uma bomba de engrenagem externa, isto é, ambas as engrenagens têm dentes em suas circunferências externas, conforme apresentado na Fig. (3.10).

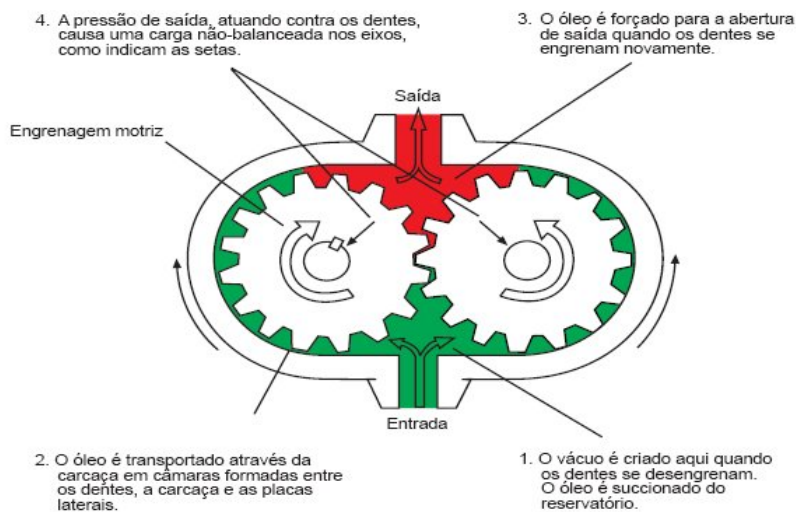


Figura 3.10 – Exemplo de uma bomba de engrenagem externa.

Vantagens

- (1) Eficiente, projeto simples;
- (2) Excepcionalmente compacta e leve para sua capacidade;
- (3) Eficiente à alta pressão de operação;
- (4) Resistente aos efeitos de cavitação;
- (5) Alta tolerância à contaminação dos sistemas;
- (6) Resistente em operações à baixas temperaturas;
- (7) Construída com mancal de apoio no eixo;
- (8) Compatibilidade com vários fluidos.

Bomba de Palheta

As bombas de palheta produzem uma ação de bombeamento fazendo com que as palhetas acompanhem o contorno de um anel ou carcaça. O mecanismo de bombeamento de uma bomba de palheta consiste de: rotor, palhetas, anel e uma placa de orifício com aberturas de entrada e saída.

O rotor de uma bomba de palheta suporta as palhetas e é ligado a um eixo que é conectado a um acionador principal. À medida que o rotor é girado, as palhetas são “expulsas” por inércia e acompanham o contorno do cilindro (o anel não gira). Quando as palhetas fazem contato com o anel, é formada uma vedação positiva entre o topo da palheta e o anel.

O rotor é posicionado fora do centro do anel. Quando o rotor é girado, um volume crescente e decrescente é formado dentro do anel. Não havendo abertura no anel, uma placa de entrada é usada para separar o fluido que entra do fluido que sai. A placa de entrada se encaixa sobre o anel, o rotor e as palhetas. A abertura de entrada da placa de orifício está localizada onde o volume crescente é formado. O orifício de saída da placa de orifício está localizado onde o volume decrescente é gerado.

Todo o fluido entra e sai do mecanismo de bombeamento através da placa de orifício (as aberturas de entrada e de saída na placa de orifício são conectadas respectivamente às aberturas de entrada e de saída na carcaça das bombas).

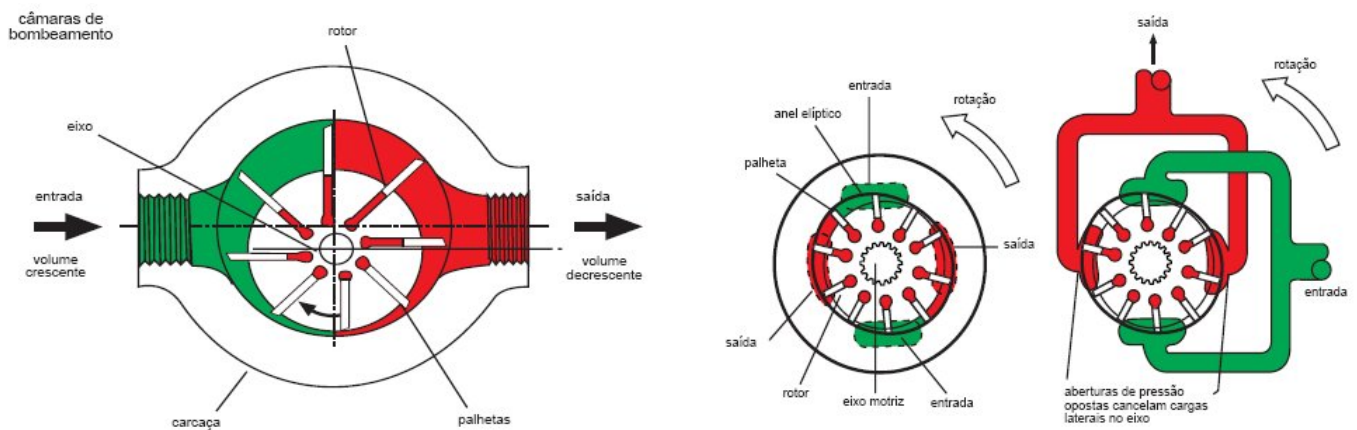


Figura 3.11 – Exemplo de uma bomba de palheta.

Vantagens

- (1) Baixo nível de ruído;
- (2) Fornece uma vazão mais uniforme de óleo que minimizando as oscilações nas linhas dos sistemas hidráulicos;
- (3) Grande tolerância à contaminação do sistema.

Bomba de Pistão

As bombas de pistão geram uma ação de bombeamento, fazendo com que os pistões se alterem dentro de um tambor cilíndrico.

O mecanismo de bombeamento de uma bomba de pistão consiste basicamente de um tambor de cilindro, pistões com sapatas, placa de deslizamento, sapata, mola de sapata e placa de orifício.

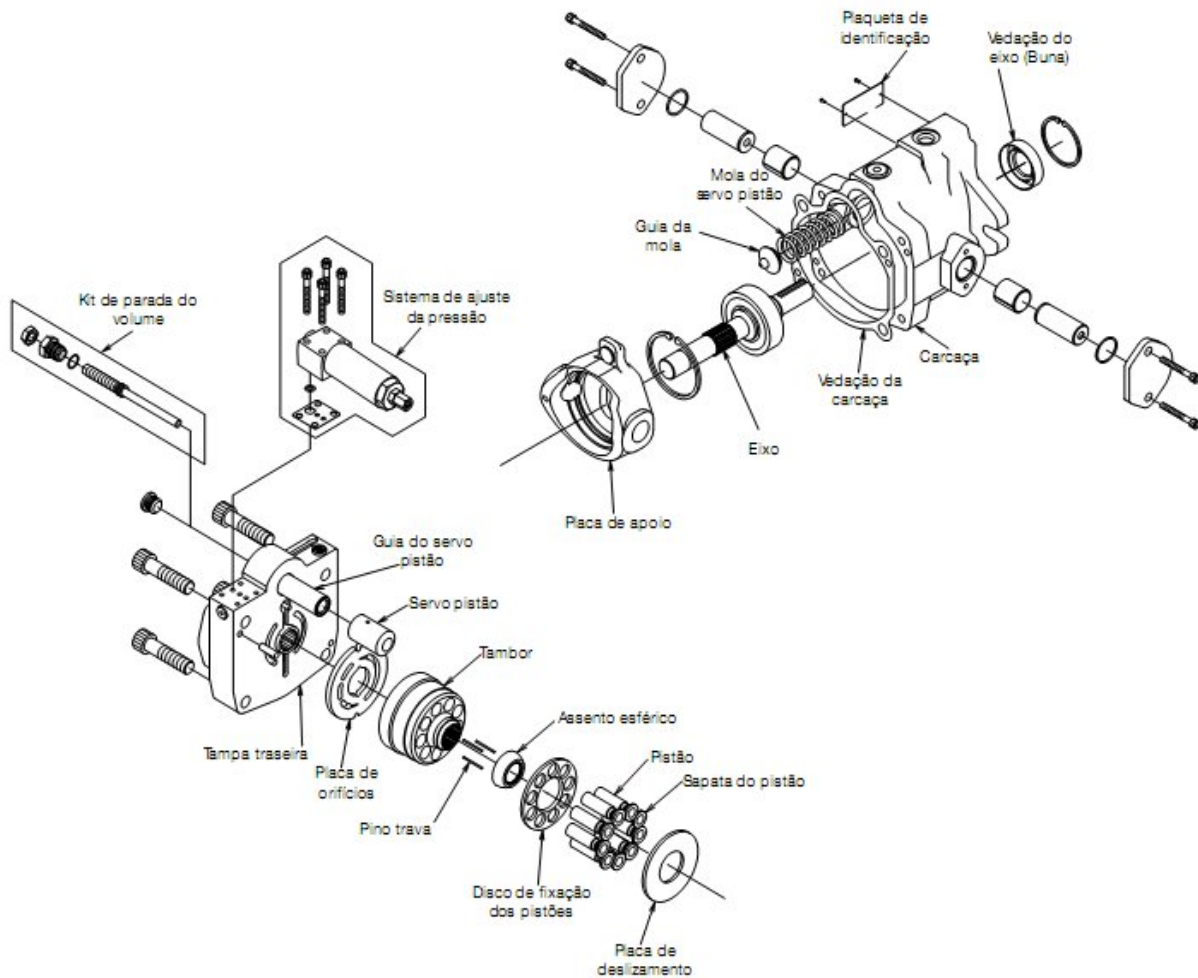


Figura 3.12 – Vista explodida de uma bomba de pistão.

No exemplo da Fig. (3.12), um tambor de cilindro com um cilindro é adaptado com um pistão. A placa de deslizamento é posicionada a um certo ângulo. A sapata do pistão corre na superfície da placa de deslizamento.

Vantagens

- (1) Baixo nível de ruído;
- (2) Compensação de pressão;
- (3) Compensação remota de pressão;
- (4) Sensoriamento de carga;
- (5) Baixa pressão de alívio.

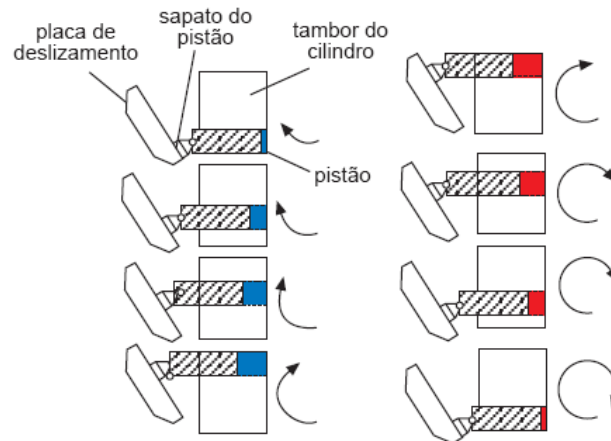


Figura 3.13 – Princípio de funcionamento de uma bomba de pistão.

Quando um tambor de cilindro gira, a sapata do pistão segue a superfície da placa de deslizamento (a placa de deslizamento não gira). Uma vez que a placa de deslizamento está a um dado ângulo o pistão alterna dentro do cilindro. Em uma das metades do ciclo de rotação, o pistão sai do bloco do cilindro e gera um volume crescente. Na outra metade do ciclo de rotação, este pistão entra no bloco e gera um volume decrescente.

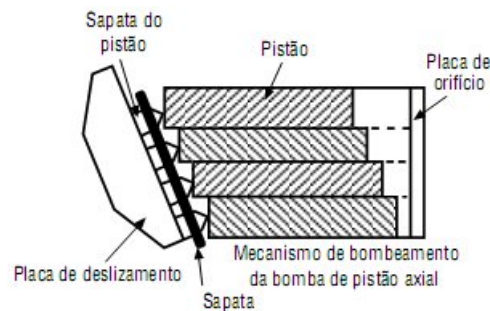


Figura 3.14 – Mecanismo de bombeamento da bomba de pistão.

Na prática, o tambor do cilindro é adaptado com muitos pistões. As sapatas dos pistões são forçadas contra a superfície da placa de deslizamento pela sapata e pela mola. Para separar o fluido que entra do fluido que sai, uma placa de orifício é colocada na extremidade do bloco do cilindro, que fica do lado oposto ao da placa de deslizamento.

Um eixo é ligado ao tambor do cilindro, que o conecta ao elemento acionado. Este eixo pode ficar localizado na extremidade do bloco, onde há fluxo, ou, como acontece mais comumente, ele pode ser posicionado na extremidade da placa de deslizamento. Neste caso, a placa de deslizamento e a sapata têm um furo nos seus centros para receber o eixo. Se o eixo estiver posicionado na outra extremidade, a placa de orifício tem o furo do eixo.

A bomba de pistão que foi descrita acima é conhecida como uma bomba de pistão em linha ou axial, isto é, os pistões giram em torno do eixo, que é coaxial com o eixo da bomba.

As bombas de pistão axial são as bombas de pistão mais populares em aplicações industriais. Outros tipos de bombas de pistão são as bombas de eixo inclinado e as de pistão radial.

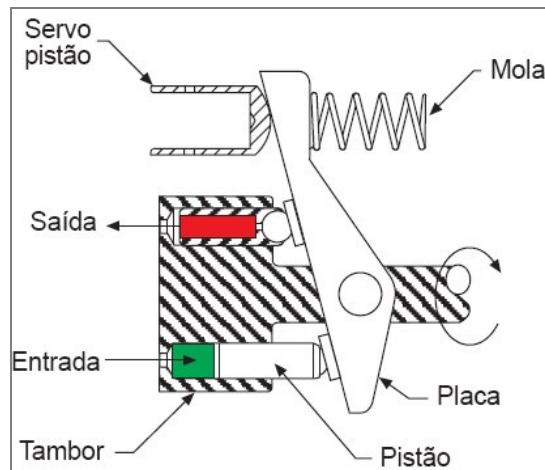


Figura 3.15 – Exemplo de uma bomba de pistão axial.

3.2.2. Bombas Centrífugas (Turbobombas)

As turbobombas, também chamadas *bombas rotodinâmicas* e *kinetic pumps* pelo Hydraulic Institute, são caracterizadas por possuírem um órgão rotatório dotado de pás, chamado rotor, que exerce sobre o líquido forças que resultam da aceleração que lhe imprime. Essa aceleração, ao contrário do que se verifica nas bombas de deslocamento positivo, não possui a mesma direção e o mesmo sentido do movimento do líquido em contato com as pás. As forças geradas são as de inércia e do tipo μv , já vistas. A descarga gerada depende das características da bomba, do número de rotações e das características do sistema de encanamentos ao qual estiver ligada:

A finalidade do rotor, também chamado “impulsor” ou “impelidor”, é comunicar à massa líquida aceleração, para que adquira energia cinética e se realize assim a transformação da energia mecânica de que está dotado. É, em essência, um disco ou uma peça de formato cônico dotada de pás. O rotor pode ser:

- **fechado** (Fig. 3.16 a) quando, além do disco onde se fixam as pás, existe uma coroa circular também presa às pás. Pela abertura dessa coroa, o líquido penetra no rotor. Usa-se para líquidos sem substâncias em suspensão e nas condições que veremos adiante;
- **Semi-aberto** (Fig. 3.16 b) quando existe apenas um disco onde se fixam as pás do rotor;
- **aberto** quando não existe essa coroa circular anterior. Usa-se para líquidos contendo pastas, lamas, areia, esgotos sanitários e para outras condições que estudaremos (Fig. 3.16 c).

As turbobombas necessitam de um outro órgão, o difusor, também chamado recuperador, onde é feita a transformação da maior parte da elevada energia cinética com que o líquido sai do rotor, em energia de pressão. Desse modo, ao atingir a boca de saída da bomba, o líquido é capaz de escoar com velocidade razoável, equilibrando a pressão que se opõe ao seu escoamento. Esta transformação é operada de acordo com o teorema de Bernoulli, pois o difusor sendo, em geral, de seção gradativamente crescente, realiza uma contínua e progressiva diminuição da velocidade do líquido que por ele escoar, com o simultâneo aumento da pressão, de modo a que esta tenha valor elevado e a velocidade seja reduzida na ligação da bomba ao encanamento de recalque. Ainda assim, coloca-se uma peça troncônica na saída da bomba, para reduzir ainda mais a velocidade na tubulação de recalque, quando isso for necessário.

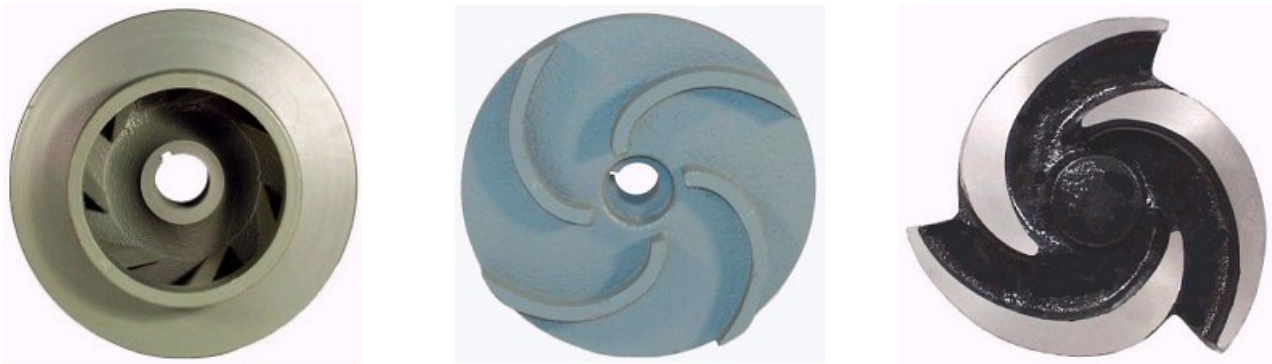


Figura 3.16 a, b e c – Rotores de turbobombas fechado, semi-aberto e aberto, respectivamente.

Dependendo do tipo de bomba o difusor pode ser:

- de tubo reto troncônico, nas bombas axiais;
- de caixa com forma de *caracol* ou *voluta*, nos demais tipos de bomba, chamado neste caso simplesmente de *coletor* ou *caracol*.

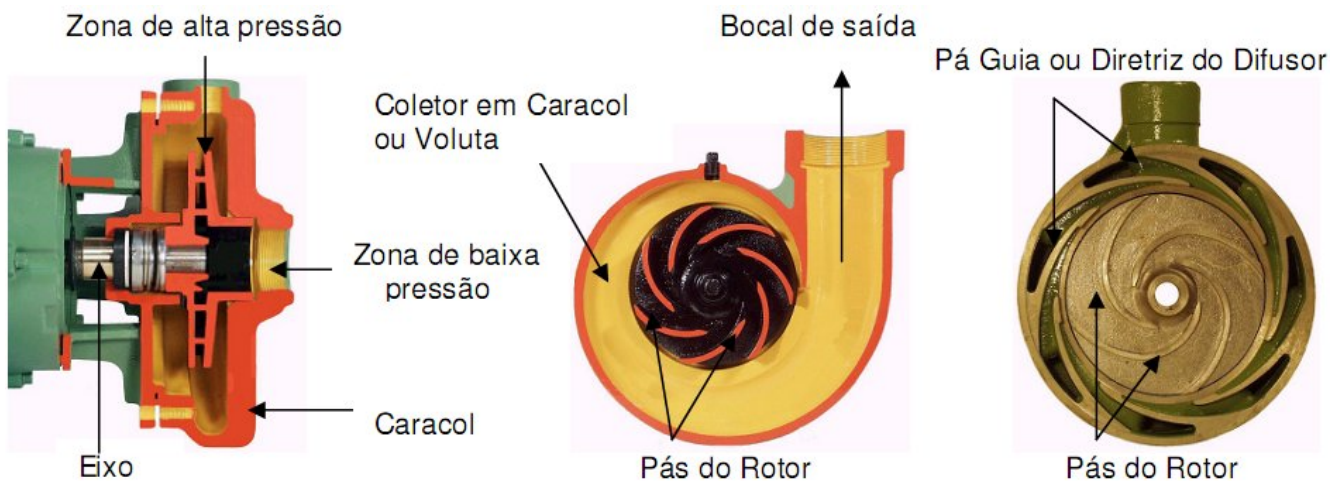


Figura 3.17 – Bomba centrífuga em caixa em caracol ou voluta.

A Figura (3.17) apresenta da esquerda para a direita, vista lateral do caracol e rotor em corte, vista frontal do caracol e rotor e Caixa espiral de descarga centralizada com difusor.

Entre a saída do rotor e o caracol, em certas bombas, colocam-se palhetas devidamente orientadas, as pás guias, para que o líquido que sai do rotor seja conduzido ao coletor com velocidade, direção e sentido tais que a transformação da energia cinética em energia potencial de pressão se processe com um mínimo de perdas por atrito ou turbulências. Muitos fabricantes europeus usam o difusor de pás, enquanto os americanos, em geral, preferem o difusor-coletor em caracol, sem pás. Nas bombas de múltiplos estágios, as *pás guias* ou *diretrizes* são necessárias.

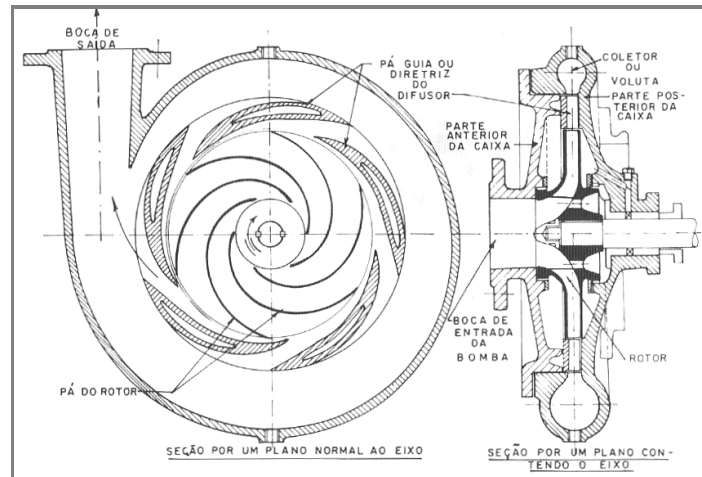


Figura 3.18 – Bomba centrífuga com pás guias.

Classificação das Turbobombas

Há várias maneiras de fazer a classificação das turbobombas. Vejamos as principais.

Classificação segundo a trajetória do líquido no rotor:

a) Bomba centrífuga pura ou radial

O líquido penetra no rotor paralelamente ao eixo, sendo dirigido pelas pás para a periferia, segundo trajetórias contidas em planos normais ao eixo. As trajetórias são, portanto, curvas praticamente planas contidas em planos radiais.

Obs.: Este tipo de bomba hidráulica é o mais usado no mundo, principalmente para o transporte de água.

Antes do funcionamento, é necessário que a carcaça da bomba e a tubulação de sucção, estejam totalmente preenchidas com o fluido a ser bombeado.

Ao iniciar-se o processo de rotação, o rotor cede energia cinética à massa do fluido, deslocando suas partículas para a extremidade periférica do rotor. Isto ocorre pela ação da força centrífuga.

Com isso, inicia-se a formação das duas zonas de pressão (baixa e alta) necessárias para desenvolver o processo:

- (A) Com o deslocamento da massa inicial do fluido do centro do rotor (Figs. 17 e 19) para sua extremidade, formar-se-á um vazio (vácuo), sendo este, o ponto de menor pressão da bomba. Obviamente, novas e sucessivas massas do fluido provenientes da captação ocuparão este espaço, pela ação da pressão atmosférica ou outra força qualquer;
- (B) Paralelamente, a massa do fluido que é arrastada para a periferia do rotor, agora comprimida entre as pás e as faces internas do mesmo, recebe uma crescente energia de pressão, derivada da energia potencial e da energia cinética, anteriormente fornecidas ao sistema. O crescente alargamento da área de escoamento (Teorema de Bernoulli), assim como as características construtivas do interior da carcaça da bomba (voluta ou difusores) (Figs. 17 e 19) ocasionam a alta pressão na descarga da bomba, elevando o fluido a altura desejada.

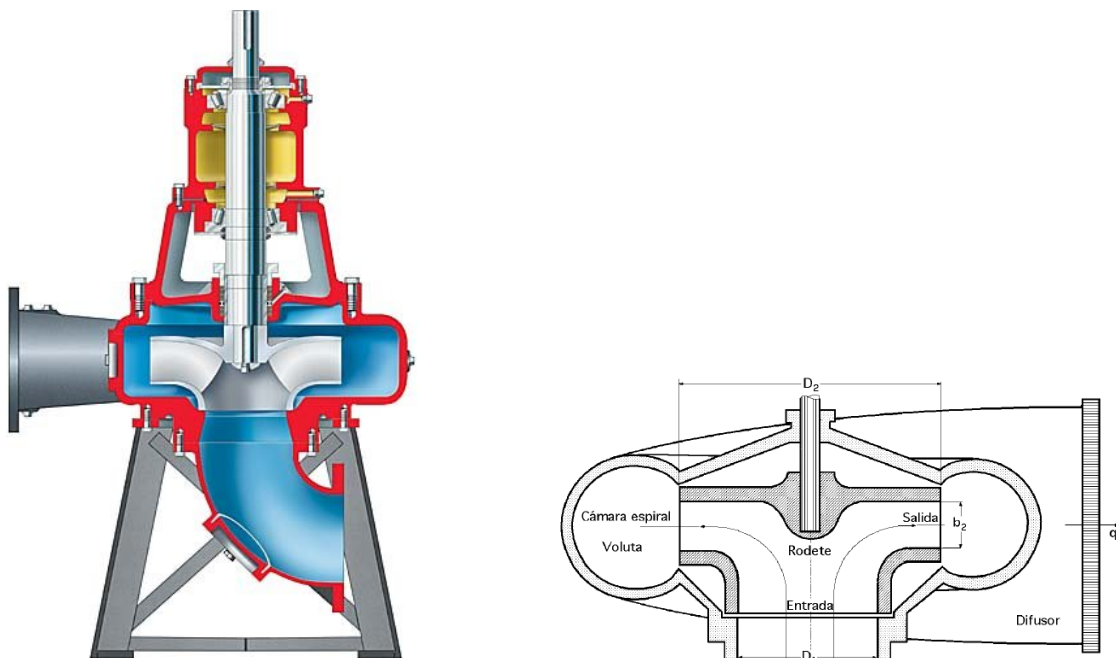


Figura 3.19 – Bomba centrífuga com rotor radial.

As bombas do tipo radial, pela sua simplicidade, se prestam à fabricação em série, sendo generalizada sua construção e estendida sua utilização à grande maioria das instalações comuns de água limpa, descargas de 5 a 500 l/s e até mais, e para pequenas, médias e grandes alturas de elevação.

Notemos que essas indicações são vagas e algo imprecisas, e que a escolha do tipo de rotor dependerá da noção de “velocidade específica” que será estudada adiante. Quando se trata de descargas grandes e pequenas alturas de elevação, o rendimento das bombas radiais torna-se baixo, e o seu custo se eleva em virtude das dimensões que assumem suas peças, tomando-se pouco conveniente empregá-las.

As bombas centrífugas são usadas no bombeamento de água limpa, água do mar, condensados, óleos, lixívias, para pressões de até 16 kgf/cm^2 e temperaturas de até $140 \text{ }^\circ\text{C}$.

Existem bombas centrífugas também de voluta, para a indústria química e petroquímica, refinarias, indústria açucareira, para água quente até $300 \text{ }^\circ\text{C}$ e pressões de até 25 kgf/cm^2 . É o caso das bombas CZ da Sulzer-Weise. As bombas de processo podem operar com temperatura de até $400 \text{ }^\circ\text{C}$ e pressões de até 45 kgf/cm^2 (ex.: bombas MZ da Sulzer-Weise).

b) Bomba de fluxo misto ou bomba diagonal

Constitui um caso intermediário ente as bombas radiais e axiais, tanto no que diz respeito à trajetória, como, inclusive, no campo de emprego. Assim, sua trajetória se faz numa diagonal e seu campo de emprego caracteriza-se pelo recalque de médias vazões em médias alturas.

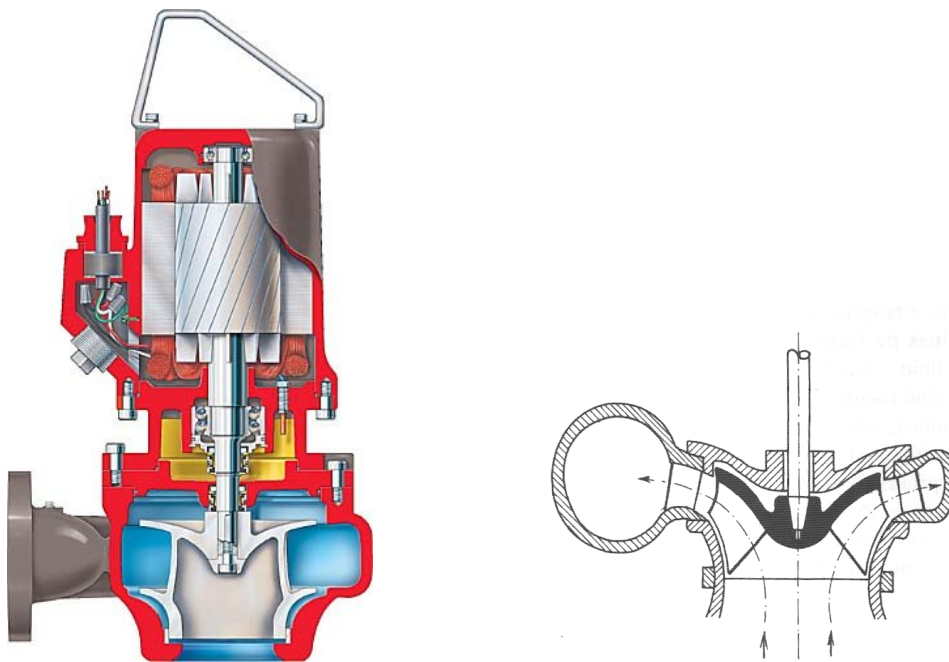


Figura 3.20 – Bomba centrífuga com rotor diagonal.

c) Bomba axial ou propulsora

Nestas bombas, as trajetórias das partículas líquidas, pela configuração que assumem as pás do rotor e as pás guias, começam paralelamente ao eixo e se transformam em hélices cilíndricas. Forma-se um hélice de vórtice forçado, pois, ao escoamento axial, superpõe-se um vórtice forçado pelo movimento das pás. Não são propriamente bombas centrífugas, pois a força centrífuga decorrente da rotação das pás não é a responsável pelo aumento da energia da pressão. São estudadas e projetadas segundo a *teoria da sustentação das asas* e da *propulsão das hélices* ou ainda segundo a *teoria do vórtice forçado*.

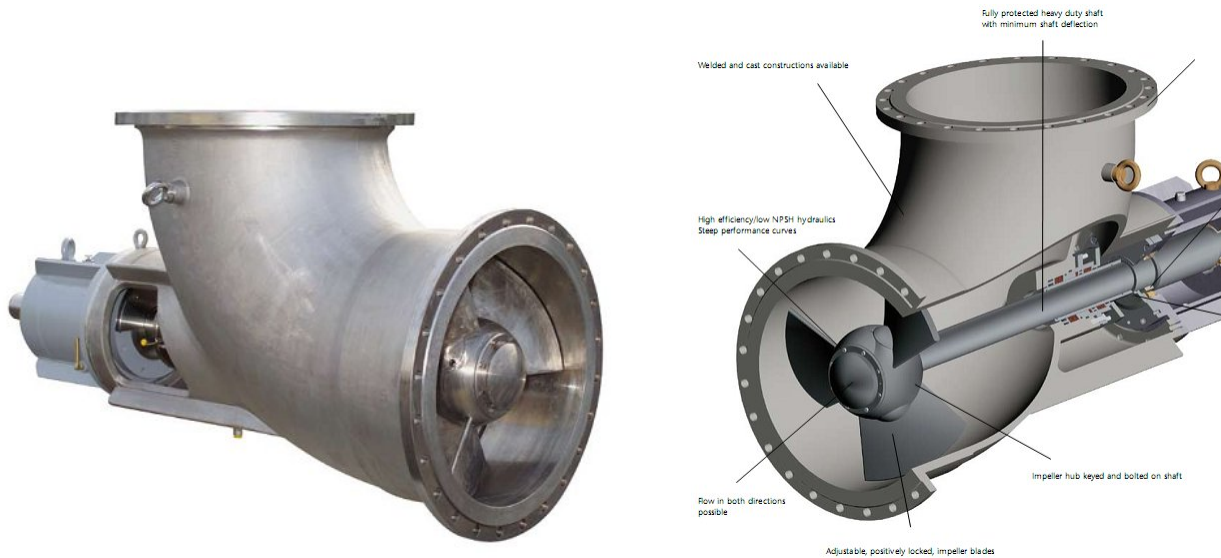


Figura 3.21 – Bomba centrífuga com rotor axial.

As bombas axiais são empregadas para grandes descargas (até várias dezenas de metros cúbicos por segundo) e alturas de elevação de até mais de 40 m.

Possuem difusor de pás guias, isto é, coletor troncônico com pás guias. O eixo em geral é vertical, e por isso são conhecidas como *bombas verticais de coluna*, porém existem modelos com o eixo inclinado e até mesmo horizontal.

Constroem-se bombas axiais com pás inclináveis (passo variável), podendo-se, por meio de um mecanismo localizado no interior da ogiva e comandado automaticamente por servomecanismos, dar às pás uma inclinação adequada a cada descarga desejada, para que o rendimento sofra pequena variação.

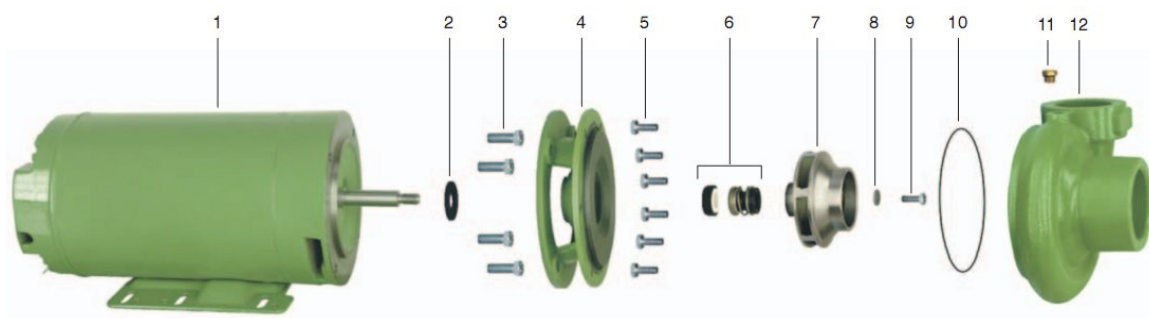
Classificação segundo o número de rotores empregados:

a) 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 único rotor e um difusor, conforme apresentado na Fig. (3.22)). Teoricamente seria possível se projetar uma bomba com um estágio para quaisquer condições propostas.



Figura 3.22 – Bomba centrífuga de simples estágio.



CÓDIGOS DOS COMPONENTES DOS PRODUTOS						
Item	Descrição	Quantidade	BCV			
1	Motor elétrico IP-21, 2 Pólos, 60 Hz	1	1,5 cv	2 cv	3 cv	
2	Anel de respingo	1	53-0	53-0	53-0	
3	Parafuso S.NC. 3/8" x 1"	4	3-6	3-6	3-6	
4	Intermediário	1	667-1	667-1	667-1	
5	Parafuso S.NC. 1/4" x 5/8"	6	821-7	821-7	821-7	
6	Selo mecânico 5/8" IP06 BUNA	1	595-2	595-2	595-2	
7	Rotor (94 mm)	1	2267-6	-	-	
7	Rotor (98 mm)	1	2490-9	-	-	
7	Rotor (102 mm)	1	-	868-0	-	
7	Rotor (106 mm)	1	-	1830-2	-	
7	Rotor (110 mm)	1	-	690-7	690-7	
7	Rotor (114 mm)	1	-	-	669-5	
* 8	Arruela lisa 1/4"	1	420-0	420-0	420-0	
* 9	Parafuso S.NF. 1/4" x 3/4"	1	1179-4	1179-4	1179-4	
10	O-ring 2049	1	769-9	769-9	769-9	
11	Bujão de vedação 1/4" GAS	1	2346-2	2346-2	2346-2	
12	Caracol	1	668-3	668-3	668-3	
**	Mancal MG JPL JJR	1	2486-7	2486-7	2486-7	

Figura 3.23 – Vista explodida de bomba centrífuga de simples estágio, com seus respectivos componentes.

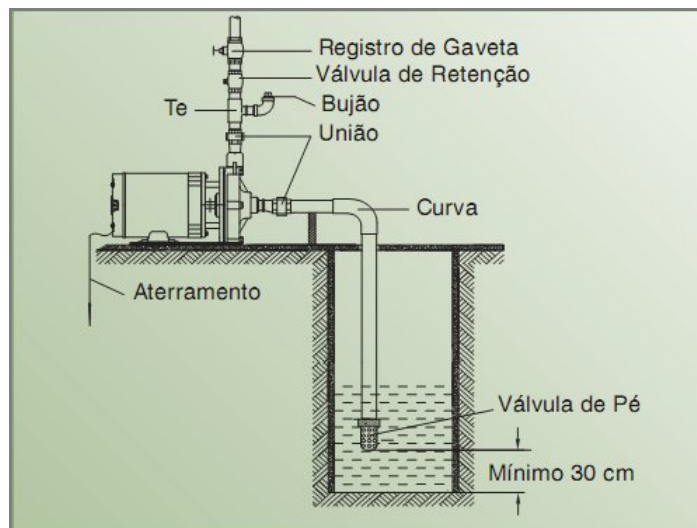


Figura 3.24 – Esquema de instalação com bomba centrífuga de simples estágio.

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 alturas de elevação grandes. 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, como é o caso das bombas Sundyne, com rotações que vão de 3.600 a 24.700 rpm, usando engrenagens para conseguir rotações elevadas.

b) 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.



Figura 3.25 – Bomba centrífuga de multiestágios.

		CÓDIGOS DOS COMPONENTES DOS PRODUTOS														
		MONTAGEM 1					MONTAGEM 2									
Item	Descrição	Quant.	ME-1207	ME-1210	ME-1315	Item	Descrição	Quant.	ME-1420	ME-1420 V	ME-1530 V	ME-1630	ME-1630 V	ME-1640 V	ME-1840	ME-1950
1	Motor elétrico 2 Pólos, 60 Hz Intermediário	1	3/4 cv	1 cv	1,5 cv	1	Motor elétrico 2 Pólos, 60 Hz Intermediário	1	2 cv	2 cv	2 cv	3 cv	3 cv	4 cv	4 cv	5 cv
* 2	Parafuso S.N.C. 3/8" x 1 1/4"	1	2937-3	2937-3	2937-3	2	Parafuso S.N.C. 3/8" x 1 1/4"	4	178-8	178-8	178-8	178-8	178-8	178-8	178-8	178-8
3	Parafuso TSC.NC. 5/16" x 3/8"	4	423-8	423-8	423-8	3	Parafuso TSC.NC. 5/16" x 3/8"	2	423-8	423-8	423-8	423-8	423-8	423-8	423-8	423-8
4	Parafuso TCC.NC. 5/16" x 7/8"	2	793-0	793-0	793-0	5	Parafuso TCC.NC. 5/16" x 7/8"	2	793-0	793-0	793-0	793-0	793-0	793-0	793-0	793-0
5	Acoplamento	1	2754-6	2754-6	2754-6	* 6	Acoplamento	1	2754-6	2754-6	2754-6	2754-6	2754-6	2754-6	2754-6	2754-6
6	Eixo	1	2758-3	2758-3	2758-3	7	Eixo	1	1553-2	1553-2	1514-3	1555-6	1555-6	1555-6	1555-6	1557-0
7	Chaveira	1	1559-3	1559-3	1560-0	8	Chaveira	1	1561-1	1561-1	1531-3	378-5	378-5	378-5	1564-7	1565-9
8	Bujão de vedação 1/4" GAS	1	2346-2	2346-2	2346-2	9	Corolvelo mecho	2	-	-	-	-	-	-	-	9-7
9	Corpo de saída	1	1131-9	1131-9	1131-9	10	Bujão de vedação 1/4" GAS	1	2346-2	2346-2	2346-2	2346-2	2346-2	2346-2	2346-2	2346-2
10	Selo mecânico 3/4" T21 BUNA	1	321-9	321-9	321-9	11	Corpo de saída	1	1131-9	1131-9	1131-9	1131-9	1131-9	1131-9	1129-0	1129-0
11	Arruela de encosto do rotor	1	1499-0	1499-0	1499-0	12	Selo mecânico 3/4" T21 BUNA	1	321-9	321-9	321-9	321-9	321-9	321-9	321-9	321-9
12	Rotor AL	Est	589-7	591-5	591-5	13	Arruela de encosto do rotor	1	1499-0	1499-0	1499-0	1499-0	1499-0	1499-0	1499-0	1499-0
13	Rotor BR	Est	790-4	792-8	792-8	14	Rotor AL CC	1	-	-	-	-	-	-	1078-9	2095-8
14	Bucha de distância	Est-1	1872-7	1872-7	1872-7	15	Rotor BR CC	1	-	-	-	-	-	-	887-9	2885-0
15	O-ring 140 x 1,78 mm EPDM	Est	426-1	426-1	426-1	16	Bucha de distância	Est-1	1872-7	1872-7	1872-7	1872-7	1872-7	1872-7	1872-7	1872-7
16	Divisão	Est-1	727-4	727-4	727-4	17	O-ring 140 x 1,78 mm EPDM	Est	426-1	426-1	426-1	426-1	426-1	426-1	426-1	426-1
17	Contraporca do rotor	1	702-0	702-0	702-0	18	Divisão	Est-1	727-4	727-4	727-4	727-4	727-4	727-4	727-4	727-4
18	Lateral de entrada	1	753-5	753-5	753-5	19	Rotor BR 91 mm	1	-	-	-	-	-	-	974-3	977-5
19	Haste 3/8"	6	787-5	787-5	1545-3	** 19	Rotor AL	** Est-1	590-3	-	-	599-7	-	-	1878-8	591-5
*** 19	Haste 3/8"	6	849-7	849-7	787-5	** Est	Rotor BR	** Est	791-6	-	-	793-4	-	-	1876-4	792-8
20	Porca NCZ 3/8"	6	2406-5	2406-5	2406-5	*** 19	Rotor AL 91 mm	1	-	31681-7	31681-7	-	31680-5	31680-5	-	-
*** 20	Porca NCZ 3/8"	6	2406-5	2406-5	2406-5	*** Est-1	Rotor AL 107 mm	1	-	31680-5	31680-5	-	31680-5	31680-5	-	-
****	Mancal MG 100FC149-5/8	1	1137-0	1137-0	1137-0	*** Est-1	Rotor BR 91 mm	1	-	4179-8	4179-8	-	4179-8	-	-	-
****	Dâmetro do rotor (mm)	1	104	107	107	*** Est-1	Rotor BR 107 mm	1	-	31682-9	31682-9	-	31682-9	31682-9	-	-
							20	Contraporca do rotor	1	1524-6	1524-6	1524-6	1524-6	1524-6	1524-6	1524-6
							21	Selo mecânico 5/8" T21 BUNA	1	302-5	302-5	302-5	302-5	302-5	302-5	302-5
							22	Bucha sinterizada	1	591-9	591-9	591-9	591-9	591-9	591-9	591-9
							23	Lateral de entrada	1	1554-6	1554-6	1554-6	1554-6	1554-6	1559-0	1559-0
							24	Haste 3/8"	6	1548-5	1548-5	30058-5	769-4	769-4	974-8	1543-0
							**** 24	Haste 3/8"	6	1545-3	1545-3	1545-3	1547-7	1547-7	974-8	1543-0
							25	Porca NCZ 3/8"	6	2406-5	2406-5	2406-5	2406-5	2406-5	2406-5	2406-5
							****	Mancal MG 100FC149	1	1137-0	1137-0	1137-0	1137-0	1137-0	1138-1	1138-1
							****	Dâmetro do rotor (mm)	1	105	91 / 107	91 / 107	104	91 / 107	107	101

Figura 3.26 – Vista explodida de bomba centrífuga de múltiplos estágios, com seus respectivos componentes.

A passagem do líquido em cada rotor e difusor constitui um *estágio* na operação de bombeamento. Se o difusor de pás guias está entre dois rotores consecutivos, denomina-se então *distribuidor da bomba*. As pás do distribuidor são fundidas ou fixadas à carcaça ou ainda podem ser adaptáveis à carcaça. O eixo pode ser horizontal ou vertical.

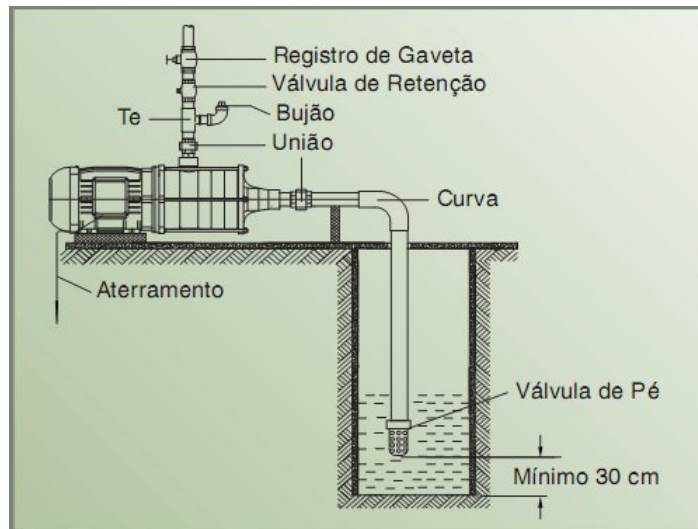


Figura 3.27 – Esquema de instalação com bomba centrífuga multiestágios.

As bombas de múltiplos estágios são próprias para instalações de alta pressão, pois a altura total a que a bomba recalca o líquido é, não considerando as perdas, teoricamente igual à soma das alturas parciais que seriam alcançadas por meio de cada um dos rotores componentes. Existem bombas deste tipo para alimentação de caldeiras com pressões superiores a 250 kgf/cm^2 . Usam-se também para poços profundos de água ou na pressurização de poços de petróleo.

Classificação segundo o número de entradas para a aspiração

a) Bomba de aspiração simples ou de entrada unilateral

Neste tipo, a entrada do líquido se faz de um lado e pela abertura circular na coroa do rotor, ou seja, o rotor possui uma única boca de sucção.

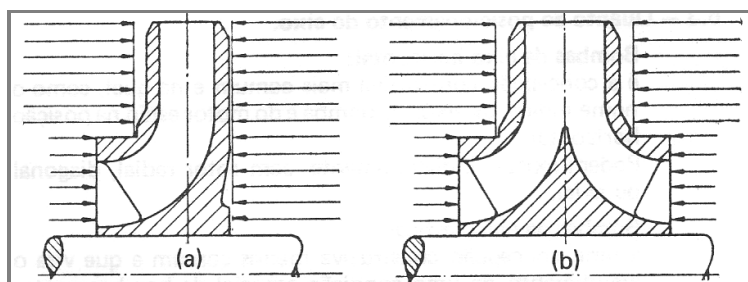


Figura 3.28 – Rotor de simples sucção (a) e rotor de dupla sucção (b).



Figura 3.29 – Bomba Friatec de simples sucção.

A Figura 3.29 mostra uma bomba Friatec de simples sucção em material cerâmico. Todos os componentes hidráulicos em material cerâmico e rotor construído em titânio.

b) Bomba de aspiração dupla ou entrada bilateral

O rotor é de forma tal que permite receber o líquido por dois sentidos opostos, paralelamente ao eixo de rotação, construtivamente, o rotor de dupla sucção nada mais é que a justaposição de dois rotores de simples sucção pelo costado.

Nas bombas de entrada bilateral, tendo uma forma simétrica em relação a um plano normal ao eixo, o rotor equivale hidráulicamente a dois rotores simples montados em paralelo e é capaz de elevar, teoricamente, uma descarga dupla, daquela que se obteria com o rotor simples.

O empuxo longitudinal do eixo, que ocorre nas bombas de entrada unilateral em razão da desigualdade de pressão nas faces das coroas do rotor, é praticamente equilibrado nas bombas de rotores bilaterais, também chamados *geminados*, em virtude da simetria das condições de escoamento. Geralmente, o rendimento dessas bombas é muito bom, o que explica seu largo emprego para descargas médias. Para permitir a montagem do eixo com o rotor (ou os rotores), a carcaça da bomba é *bipartida*, isto é, constituída de duas seções separadas por um plano horizontal à meia altura do eixo e aparafusadas uma à outra.

A Figura 3.30 mostra uma bomba Scanpump de carcaça bipartida, ou de *fluxo duplo*. A API-610, item 11a, não permite o emprego de bombas de carcaça bipartida para temperatura de bombeamento acima de 205 °C e/ou quando se tratar de líquidos tóxicos ou inflamáveis com densidade menor que 0,7.

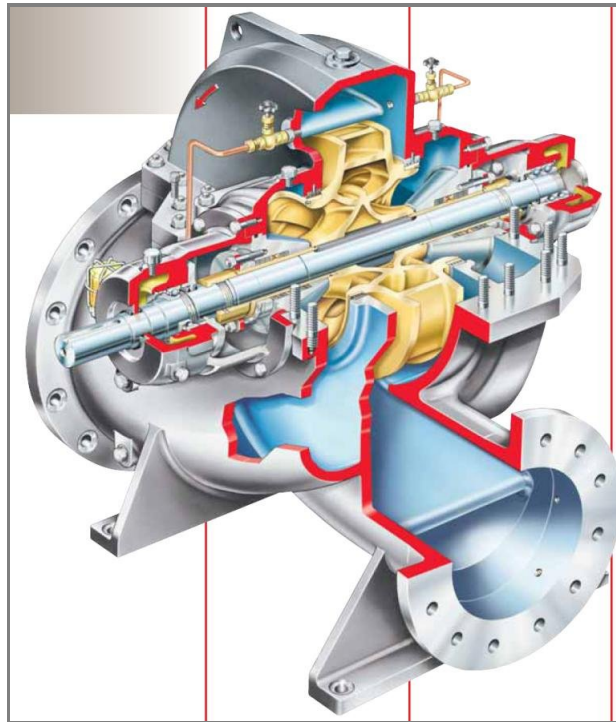


Figura 3.30 – Bomba Scanpump de carcaça bipartida, séries R e A.

Aplicações: Sistemas de abastecimento de água; combate a incêndio; sistemas de resfriamento, etc.

Funcionamento de uma Bomba Centrífuga

Para facilitar uma primeira compreensão do funcionamento das turbobombas, vamos considerar o tipo mais simples e mais empregado, que é a bomba centrífuga.

A Bomba Centrífuga tem como base de funcionamento a criação de duas zonas de pressão diferenciadas, uma de baixa pressão (sucção) e outra de alta pressão (recalque). Para que ocorra a formação destas duas zonas distintas de pressão, é necessário existir no interior da bomba a transformação da energia mecânica (de potência), que é fornecida pela máquina motriz (motor ou turbina), primeiramente em energia cinética, a qual irá deslocar o fluido, e posteriormente, em maior escala, em energia de pressão, a qual irá adicionar “carga” ao fluido para que ele vença as alturas de deslocamento.

A bomba centrífuga necessita ser previamente enchida com o líquido a bombear, isto é, deve ser “*escorvada*”. Devido às folgas entre o rotor e o coletor e o restante da carcaça, não pode haver a expulsão do ar do corpo da bomba e do tubo de aspiração, de modo a ser criada a rarefação com a qual a pressão, atuando no líquido no reservatório de aspiração, venha a ocupar o vazio deixado pelo ar expelido e a bomba possa bombear. Ela, portanto, não é *auto-aspirante* ou *auto-escorvante*, a não ser que se adotem recursos de construção especiais como veremos.

Logo que se inicia o movimento do rotor e do líquido contido nos canais formados pelas pás, a força centrífuga decorrente deste movimento cria uma zona de maior pressão na periferia do rotor e, conseqüentemente, uma de baixa pressão na sua entrada, produzindo o deslocamento do líquido em direção à saída dos canais do rotor e à boca de recalque da bomba. Estabelece-se um gradiente hidráulico entre a entrada e a saída da bomba em virtude das pressões nelas reinantes.

Admitamos que uma tubulação, cheia de líquido contido na bomba, ligue a boca de aspiração a um reservatório submetido à pressão atmosférica (ou outra suficiente) e que outra tubulação, nas mesmas condições, estabeleça a ligação da boca de recalque a um outro reservatório colocado a uma determinada cota onde reine a pressão atmosférica (ou outra pressão qualquer).

Em virtude da diferença de pressões que se estabelece no interior da bomba ao ter lugar o movimento de rotação, a pressão à entrada do rotor torna-se inferior à existente no reservatório de captação, dando origem ao escoamento do líquido através do encanamento de aspiração, do reservatório inferior para a bomba.

Simultaneamente, a energia na boca de recalque da bomba, tornando-se superior à pressão estática a que está submetida a base da coluna líquida na tubulação de recalque, obriga o líquido a escoar para uma cota superior ou local de pressão considerável.

Estabelece-se então, com a bomba em funcionamento, um trajeto do líquido do reservatório inferior para o superior através da tubulação de aspiração, dos canais do rotor e difusor e da tubulação de recalque.

É na passagem pelo rotor que se processa a transformação da energia mecânica nas energias de pressão e cinética, que, como vimos, são aquelas que o líquido pode possuir. Saindo do rotor, o líquido penetra no difusor, onde parte apreciável de sua energia cinética é transformada em energia de pressão, e segue para a tubulação de recalque.

No entanto, resumidamente, podemos dizer que o funcionamento de uma bomba centrífuga contempla o princípio universal da conservação de energia, que diz: “A energia potencial transforma-se em energia cinética, e vice-versa”. Parte da energia potencial transmitida à bomba não é aproveitada pela mesma pois, devido ao atrito, acaba transformando-se em calor. Em vista disto, o rendimento hidráulico das bombas pode variar em seu melhor ponto de trabalho (ponto ótimo) de 20% a 90%, dependendo do tipo de bomba, do acabamento interno e do fluído bombeado pela mesma.

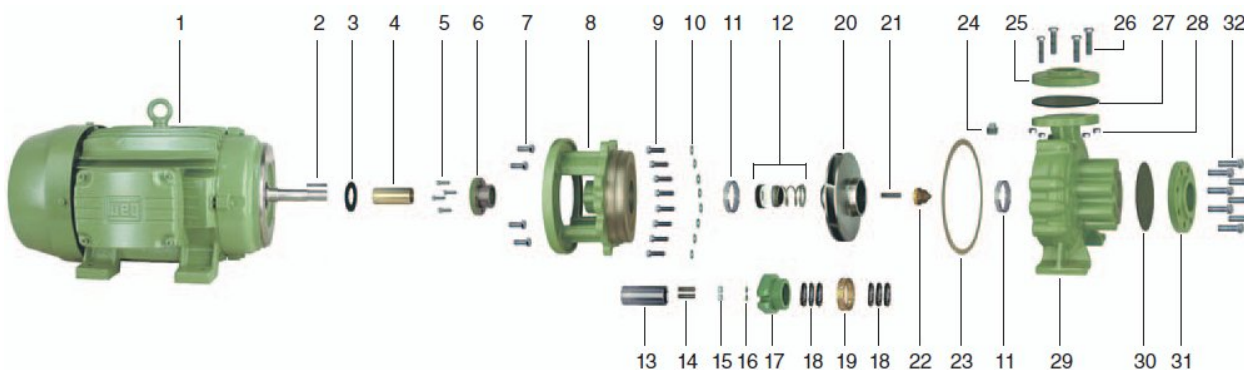
O nome de *bomba centrífuga* dado a esse tipo se deve ao fato de ser a força centrífuga a responsável pela maior parte da energia que o líquido recebe ao atravessar a bomba.

Órgãos Construtivos de uma Turbobomba

Visando o atendimento de condições particulares do bombeamento, podem as turbobombas apresentar variações com relação a seus órgãos construtivos. Basicamente, contudo, podemos considerar os órgãos construtivos de uma turbobomba, assim (ver Fig. 3.31 e sua legenda):

Órgãos principais (do ponto de vista hidráulico) { Rotor
Difusor

Órgãos complementares { Eixo
Anéis de desgaste
Caixa de gaxetas e selo mecânico
Rolamentos
Acoplamento
Base da Bomba



CÓDIGOS DOS COMPONENTES DOS PRODUTOS									
Item	Descrição	Quantidade	BC-20 F - Gaxeta			BC-20 F - Selo Mecânico			
			30 cv	40 cv	50 cv	30 cv	40 cv	50 cv	
1	Motor elétrico IP-55, 2 Pólos, 60 Hz	1	30 cv	40 cv	50 cv	30 cv	40 cv	50 cv	
2	Chaveta do rotor	1	2478-8	2478-8	2478-8	2478-8	2478-8	2478-8	
3	Anel de respiro	1	1883-1	1883-1	1883-1	1883-1	1883-1	1883-1	
4	Bucha do selo	1	-	-	-	2477-6	2477-6	2477-6	
5	Parafuso S.NC. 5/8" x 1 1/2"	4	1031-5	1031-5	1031-5	1031-5	1031-5	1031-5	
6	Tampa do selo	1	-	-	-	2466-1	2466-1	2466-1	
7	Parafuso S.NC. 5/16" x 1"	4	-	-	-	1157-5	1157-5	1157-5	
8	Intermediário	1	2445-4	2445-4	2445-4	2447-8	2447-8	2447-8	
9	Parafuso S.NC. 1/2" x 1 1/2"	8	1887-9	1887-9	1887-9	1887-9	1887-9	1887-9	
10	Armuela lisa 1/2"	8	1038-8	1038-8	1038-8	1038-8	1038-8	1038-8	
11	Anel de desgaste	2	2472-7	2472-7	2472-7	2472-7	2472-7	2472-7	
12	Selo mecânico 1 3/4" T21 BUNA	1	-	-	-	1903-3	1903-3	1903-3	
13	Bucha da gaxeta	1	817-5	817-5	817-5	-	-	-	
14	Haste 3/8" X 40 mm	2	1944-6	1944-6	1944-6	-	-	-	
15	Porca NCZ. 3/8"	2	2406-5	2406-5	2406-5	-	-	-	
16	Armuela lisa 3/8"	2	421-2	421-2	421-2	-	-	-	
17	Flange da gaxeta	1	2458-2	2458-2	2458-2	-	-	-	
18	Gaxeta grafitada	140 g	2479-0	2479-0	2479-0	-	-	-	
19	Anel de refrigeração	1	2480-6	2480-6	2480-6	-	-	-	
20	Rotor (210 mm)	1	1940-9	-	-	1940-9	-	-	
20	Rotor (220 mm)	1	-	1027-3	-	-	1027-3	-	
20	Rotor (230 mm)	1	-	1024-8	1024-8	-	1024-8	1024-8	
20	Rotor (240 mm)	1	-	-	-	-	-	2469-7	
20	Rotor (250 mm)	1	-	-	2468-5	-	-	2468-5	
21	Haste contraporca do rotor	1	1820-0	1820-0	1820-0	1820-0	1820-0	1820-0	
22	Contraporca do rotor	1	1889-2	1889-2	1889-2	1889-2	1889-2	1889-2	
23	Junta da bomba	1	2470-3	2470-3	2470-3	2470-3	2470-3	2470-3	
24	Bujão 3/8" GAS	1	822-9	822-9	822-9	822-9	822-9	822-9	
25	Flange de recalque DIN 2500 PN 40 atm	1	2453-3	2453-3	2453-3	2453-3	2453-3	2453-3	
26	Parafuso S.NC. 5/8" x 3"	4	1030-3	1030-3	1030-3	1030-3	1030-3	1030-3	
27	Junta da flange de recalque	1	2473-9	2473-9	2473-9	2473-9	2473-9	2473-9	
28	Porca NC. 5/8"	4	210-0	210-0	210-0	210-0	210-0	210-0	
* 29	Caracol	1	2451-0	2451-0	2451-0	2451-0	2451-0	2451-0	
30	Junta da flange de sucção	1	2474-0	2474-0	2474-0	2474-0	2474-0	2474-0	
31	Flange de sucção DIN 2500 PN 40 atm	1	2455-7	2455-7	2455-7	2455-7	2455-7	2455-7	
32	Parafuso S.NC. 5/8" x 2"	8	2772-8	2772-8	2772-8	2772-8	2772-8	2772-8	
	Mancal OL 200FC279 JP206-G	1	1195-2	1195-2	1195-2	1195-2	1195-2	1195-2	

* Para bombas Trifásicas de 30 cv, substituir item 29 (código 2451-0) pelo código 2449-1.

Figura 3.31 – Bomba centrífuga monoestágio Schneider. Série BC-20 F.

a) O rotor

Como se sabe, o rotor é o órgão móvel que, acionado pela fonte externa de energia, energiza o fluido, aspirando-o às custas de uma depressão em sua região central e recalçando-o graças à sobrepressão periférica.

Como já se expôs também, podem os rotores se classificar em:

- **Radiais, diagonais e axiais:** conforme a trajetória do fluido.
- **De simples e dupla sucção:** conforme recolha o fluido por um lado ou pelos dois.

Uma outra importante classificação dos rotores, contudo, é aquela que os agrupa segundo o seu desenho mecânico. Segundo ela, temos:

- **Rotor fechado:** são usados normalmente no bombeamento de líquidos limpos.

O rotor possui discos dianteiro e traseiro e palhetas fixas a ambos. Com esse tipo de rotor evita-se o retorno da água à boca de sucção, sendo para tal necessário a existência de juntas móveis (anéis de desgaste) entre a carcaça e o rotor, separando a câmara de sucção da câmara de descarga.

É inadequado para o bombeamento de fluidos sujos porque, pela própria geometria, facilita o seu próprio entupimento.

- **Rotor semi-aberto:** possui apenas um disco ou parede traseira onde se fixam as palhetas.
- **Rotor aberto:** as palhetas são presas no próprio cubo do rotor.

Apresenta a grande desvantagem de possuir pequena resistência estrutural, o que faz com que seja necessário uma pequena parede traseira quando as palhetas são muito largas. Além disso, o espaço livre entre as palhetas do rotor e as paredes laterais permite a recirculação do líquido no interior da carcaça, aumentando o desgaste e encarecendo a manutenção.

Geralmente os rotores abertos são encontrados em bombas pequenas, de baixo custo, ou em bombas que recalcam líquidos abrasivos.



Figura 3.32 a, b e c – Rotores de turbobombas fechado, semi-aberto e aberto, respectivamente.

b) O difusor

O líquido, após ser energizado no rotor, adquire grande velocidade, não sendo possível e nem recomendável a sua injeção direta na tubulação porque a perda de carga seria intensa, de vez ser esta função do quadrado da velocidade.

Assim o líquido expelido pelo rotor é encaminhado ao difusor, a quem compete:

- Transformar a energia cinética do líquido em energia de pressão (o que se consegue construindo o difusor com canal ou canais de secção crescente).
- Coletar o líquido expelido pelo rotor e encaminhá-lo à tubulação de recalque.

Têm-se, assim, os seguintes tipos de difusores:

● **Difusor de caixa espiral ou voluta.**

É, via de regra, o próprio invólucro ou carcaça da bomba, formando um canal de área de secção transversal crescente na periferia do rotor.

É o tipo de difusor empregado nas bombas de eixo horizontal e de um único estágio, recebendo também a denominação de voluta da bomba.

Podem ser de:

● **Simplex voluta.**



Figura 3.33 – Caixa espiral (simplex voluta).

● **Dupla voluta:** é a solução para as bombas onde a altura de recalque e o diâmetro do rotor são muito grandes, provocando, principalmente quando se opera fora do ponto de projeto, o aparecimento de uma força radial sobre o rotor, devida à distribuição não uniforme da pressão na periferia do mesmo.



Figura 3.34 – Caixa espiral (com dupla voluta).

A caixa espiral de dupla voluta caracteriza-se por possuir uma parede (língua ou lingueta) que divide o canal da caixa espiral próximo à saída em duas partes, igualando as pressões e anulando o empuxo radial.

● Difusor de palhetas diretrizes.

É o tipo de difusor comumente empregado em bombas multicelulares onde, além de transformar a energia cinética em energia de pressão, tem a incumbência de direcionar o fluido para que o mesmo não se choque perpendicularmente com a carcaça.

Imposto pela necessidade de direcionar o fluido para que o mesmo não se choque perpendicularmente contra a carcaça, o difusor de palhetas diretrizes é usado, inclusive, nas bombas unicelulares ou de 1 estágio (Fig. 3.36).

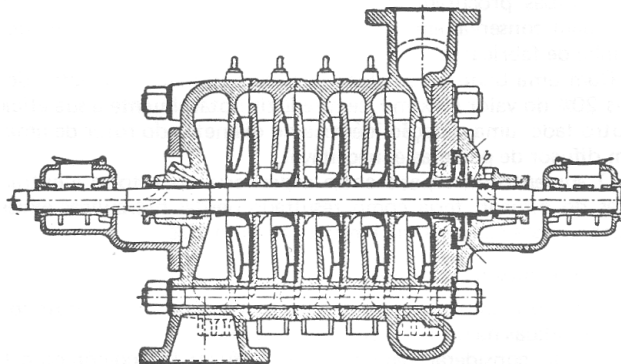


Figura 3.35 – Bomba multicelular com difusores de palhetas diretrizes.

Em ambos os casos, consiste o difusor de palhetas diretrizes de um disco dotado de pás ou palhetas que formam canais de secção crescente, circundando o rotor. É usado em conjunto com a caixa espiral.

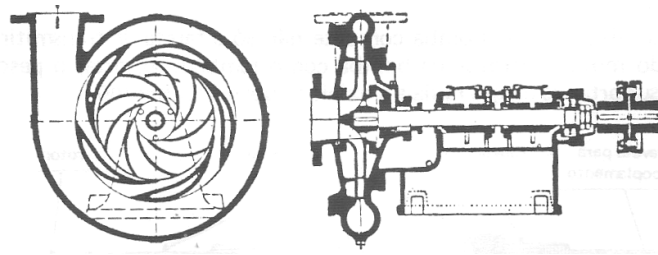


Figura 3.36 – Bomba unicelular com difusor de palheta diretriz.

Infelizmente, o uso de difusores de palhetas diretrizes pode prejudicar as características hidráulicas da bomba. O líquido, com grande velocidade na saída do rotor, só encontra as palhetas do difusor sem choques quando a bomba está operando com a vazão de projeto, porque só então o ângulo de saída do líquido do rotor coincide com o ângulo das palhetas do difusor. Com qualquer outra vazão, originam-se choques e turbulência, de forma que a bomba pode ter um funcionamento instável.

Outro problema que se apresenta com o uso de difusores de palhetas é a redução do campo de emprego da bomba. É claro que os fabricantes de bombas procuram obter a maior aplicabilidade possível de um modelo, para conservar em um mínimo o número de modelos de determinada linha de fabricação.

Com uma bomba de voluta pode-se diminuir o diâmetro do rotor até uns 20% do valor máximo, sem reduzir notavelmente a sua eficiência. Por outro lado, uma redução idêntica no diâmetro do rotor de uma bomba com difusor de palhetas é inaceitável.

O aumento do espaço entre a periferia do rotor e a entrada das palhetas do difusor, teria como resultado perdas hidráulicas excessivas. A redução, neste caso, estaria limitada de 5% a 10%.

● Difusores tronco-cônicos.

É o tipo empregado nas bombas verticais constituindo-se de palhetas fundidas na própria carcaça da bomba.

Pode-se considerar também como difusor tronco-cônico o trecho final das caixas espirais, através do qual estas se acoplam à linha de recalque.