



MANUTENÇÃO E INSTALAÇÃO DE BOMBAS HIDRODINÂMICAS.

Manutenção e Instalação de Bombas Hidrodinâmicas

Instalação e Manutenção de Bombas Hidrodinâmicas.

© SENAI-SP, 2017

1ª Edição

Organização

Rafael Henrique de Melo Cunha

Sérgio Moraes da Silva

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

Departamento Regional de São Paulo

Av. Paulista, 1313 - Cerqueira César

São Paulo-SP CEP 01310-100

Núcleo de Meios Educacionais

Gerência de Educação da Diretoria Técnica do SENAI-SP

Telefone (11) 3146-7229

<http://ged.sp.senai.br/>

ged@sp.senai.br

Sumário

	<i>Página</i>
1.0 Finalidades	09
1.1 Introdução	09
1.2 Classificação das Bombas	10
1.2.1 Turbo – Bombas	10
1.2.2 Centrífugas puras ou radiais	10
1.2.3 Encaminhamento do Líquido	11
1.3 Classificação das Bombas Centrífugas	12
1.3.1 Hélico centrífugas ou Mixed Flow	16
1.3.2 Axiais ou Helicoidais	17
1.3.3 Turbina	17
1.3.4 Características	18
1.3.5 Vazão	18
1.3.6 Altura manométrica:	18
1.3.7 Potência	18
1.3.8 Eficiência (ou rendimento)	18
1.4 Componentes das Bombas Centrífugas	21
1.4.1 Carcaça (ou corpo) (Casing)	21
1.4.2 Os difusores	24
1.4.3 Eixo (Shaft)	24
1.4.4 Rotor ou Impelidor (Impeller)	26
1.5 Sistema de Vedação	28
1.5.1 Caixa de Gaxetas	29
1.5.2 Selagem da Caixa de Gaxetas	29
1.5.3 Qualidade das Gaxetas	32
1.5.4 Principais tipos	32
1.5.6 Selos Mecânicos (Mechanical Seals)	33
1.5.7 Princípio dos Selos Mecânicos	34
1.5.8 Selo Mecânico Duplo	36
1.5.9 Selos Balanceados e não Balanceados	37
1.6 Esforços Axiais em Bombas de Simples e Múltiplos Estágios	38
1.7 Esforço axial em bombas de multi estágios	39
1.8 Maneiras de balancear o esforço axial	39
1.9 Uso de dispositivos de balanceamento	40
1.10 Acoplamento (Couplings)	41
1.11 Tipos de Acoplamentos Flexíveis	41
2.0 Mancais	45
2.1 Introdução	45
2.2 Circuitos Auxiliares	46
2.3 Acionador e Base	47
2.4 Estágios de Bombeamento	47
2.5 Operação	48
2.5.1 Partida	48
2.5.2 Medidas Preliminares	49
2.5.3 Sistemas auxiliares	49

2.5.4 Partida do acionador	49
2.5.5 Regulagem da Vazão	49
2.5.6 Sequências de Parada	50
2.6 Cuidados Operacionais	50
2.6.1 Limpeza	51
2.6.2 Segurança	51
2.6.3 Instalação	51
2.6.4 Lubrificação	51
2.6.5 Vedação	51
2.6.6 Recomendações	52
2.7 Principais problemas operacionais de uma bomba centrífuga	52
2.7.1 Erosão	52
2.7.2 Desgaste por abrasão dos Anéis de Vedação, Bucha, Engaxetamentos e Mancais	53
2.7.3 Corrosão	53
2.7.4 Cavitação	54
2.7.5 NPSH Requerido	55
2.7.6 NPSH Disponível	55
2.8 Associação de bombas centrífugas	56
2.8.1 Em paralelo	57
2.8.2 Em série	57
2.9 Dificuldade de Operação de uma Bomba Centrífuga	57
2.9.1 A bomba não bombeia o líquido	57
2.9.2 Vazão insuficiente	58
2.9.3 Pressão insuficiente	58
2.9.4 Bomba perde sucção após partida	58
2.9.5 Bomba sobrecarregando o motor	58
2.9.6 Bomba vibra	58
3.0 Bombas Volumétricas ou Deslocamento Positivo	59
3.1 Introdução	59
3.2 Bombas Rotativas	60
3.3 Tipos	63
3.4 Bomba Rotativa de Palhetas	63
3.4.2 Vantagens	64
3.4.3 Desvantagens	64
3.4.4 Aplicações	64
3.5 Bomba Rotativa de Engrenagem	65
3.6. Bombas de engrenagens internas	65
3.6.1 Como operam	66
3.7 Bomba de Engrenagem externa	66
3.7.1 Vantagens das Bombas de Engrenagem	67
3.7.2 Desvantagens	67
3.7.3 Aplicações	67
3.8 Bomba Rotativa de Parafusos	67
3.8.1 Vantagens	67
3.8.2 Desvantagens	68
3.9 Com um só parafuso	68
3.10 Com dois parafusos	69
3.11 Com três parafusos	70
3.12 Bomba Rotativa de Lóbulos	70
3.12.1 Vantagens	72
3.12.2 Desvantagens	72
3.13 Princípio de Operação	72
3.14 Operação de Bombas Rotativas	74
3.14.1 Partida	74

3.14.2 Parada	74
3.14.3 Rotinas Operacionais	74
3.15 Bombas Alternativas ou recíprocas	75
3.15.1 Bombas de Pistão	75
3.15.2 Classificação	75
3.16 Componentes	78
3.16.1 Carcaça (ou Corpo)	78
3.16.2 Êmbolo (ou pistão)	79
3.16.3 Haste	79
3.17 Princípio de Funcionamento da Bomba Alternativa	79
3.17.1 Acionamento	80
3.17.2 Vedação	80
3.17.3 Características e Aplicação	81
3.17.4 Operação	82
3.17.5 Bomba de Diafragma	83
3.18 Operação bomba de diafragma de duas câmaras	85
4.0 Referências	87

1.0 Finalidades

1.1 Introdução

Bombas são equipamentos mecânicos usados no transporte de líquidos através de tubulações ou equipamentos.

Recebem energia mecânica de um equipamento acionador e a transfere para o líquido que está sendo bombeado.

As bombas recebem energia de uma fonte motora qualquer (motor elétrico, turbina a vapor etc.) e cede parte desta energia ao fluido na forma de energia de pressão, cinética, ou ambas as grandezas.

Chama-se bombear, a ação de adicionar energia a um fluido para movê-lo de um ponto para outro.

A relação entre a energia cedida pela bomba ao líquido e a energia que foi recebida da fonte motora, é denominado rendimento da bomba.

No projeto de dimensionamento de bombas recomenda-se consulta de normas técnicas:

- **A S M E** – Secção VIII – **American** **Oscite off** **Mecânica** **Engenhes**
- **S t a n d a r d s** **o f f** **I h e** **Hidráulica**
Instituto
- **A P I** – **American** **Petróleo** **Instituto**
- **A B N T** – **Associação** **Brasileira** de **Normas** **Técnicas** (P – NB – 109)
- **A S T M** – **American** **Oscite** **for** **Testinha**
Material

1.2 Classificação das Bombas

As bombas são classificadas em dois grandes grupos:

- Turbo - bombas;
- Bombas volumétricas ou deslocamento positivo

1.2.1 Turbo – Bombas

São aquelas cuja movimentação do líquido é produzida por forças que se desenvolvem na massa líquida em consequência da rotação de uma ou mais rodas, com um certo número de palhetas.

Conforme as posições relativas do movimento geral do líquido e do eixo de rotação do rotor ou impelido podemos distinguir os tipos fundamentais de turbo-bombas:

- Centrífugas puras ou radiais;
- Hélcio -centrífugas;
- Axiais ou Helicoidais Turbina

1.2.2 Centrífugas puras ou radiais

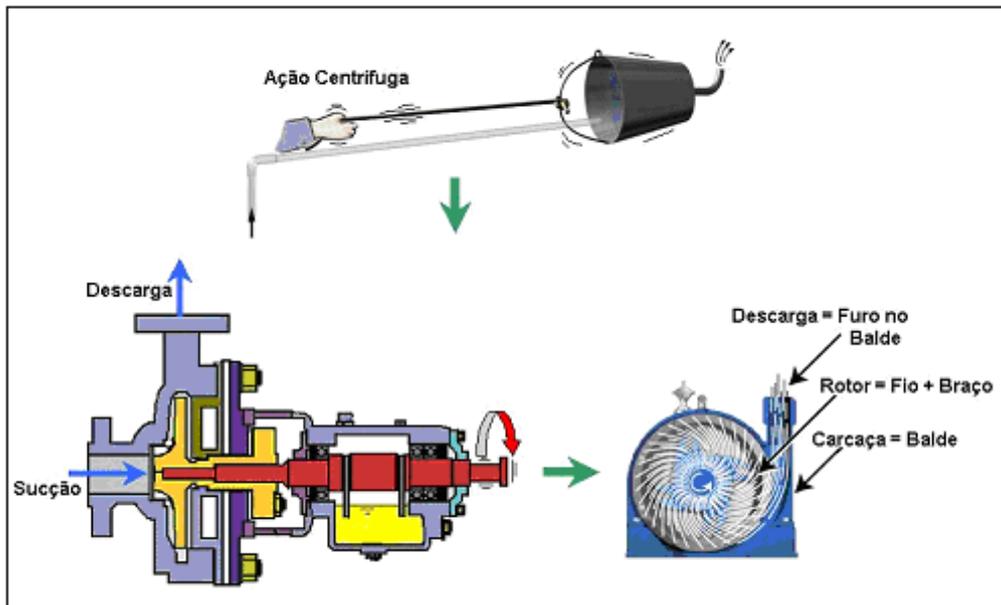
São aquelas caracterizadas pelo movimento geral do líquido que se dá na direção normal (Perpendicular) ao eixo de rotação.

A noção de força centrífuga pode ser visualizada, quando giramos um balde cheio com água amarrada ao uma corda. Fazendo um buraco no fundo do balde, a água é lançada pela ação da força centrífuga.

Quanto maior for a rotação, maior a força centrífuga e mais longe será lançada à pedra. A Força centrífuga é proporcional à rotação. Ver figura.

As bombas centrífugas são as mais empregadas, pela simplicidade, baixo custo e facilidade de operação nas condições mais variadas de temperatura, pressão e vazão.

O principal empregado numa bomba centrífuga é o acionamento do líquido pela ação da força centrífuga (centrífuga significa que se afasta ou procura desviar-se do centro).



1.2.3 Encaminhamento do Líquido

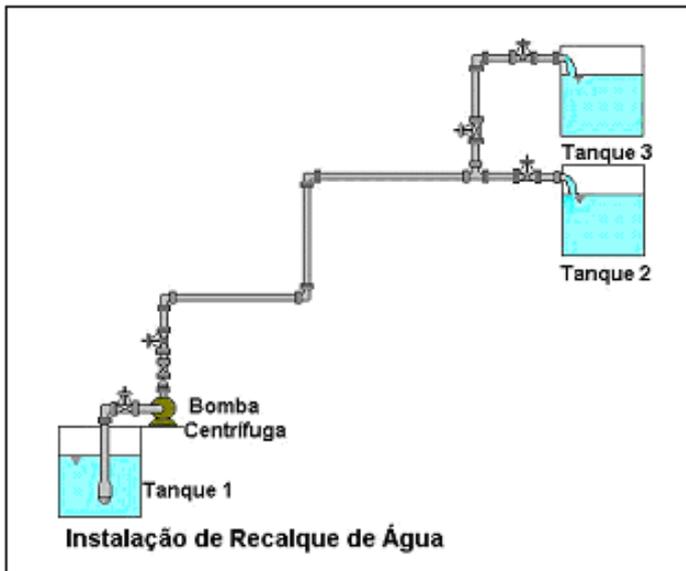
O encaminhamento do líquido dentro da bomba de acordo com a figura acima é o seguinte:

- A- O líquido que entra no corpo da bomba é encaminhado por este ao centro do rotor;
- B- Pelo movimento de rotação do rotor, as pás jogam o líquido (ação da força centrífuga contra a parte interna do corpo da bomba);
- C- O líquido lançado pelo rotor é recolhido pela parte interna do corpo e encaminhado à saída da bomba. O líquido ao passar pela bomba tem a sua pressão aumentada.

O esquema dá ao **lado ilustra** a aplicação de uma bomba do tipo centrífuga no bombeamento de um líquido de um reservatório aberto inferior para um outro superior. As bombas encontraram larga aplicação nas indústrias químicas e petroquímicas em geral.

Quando sua função no processo industrial é de grande importância, o que ocorre quase sempre é usual a instalação de unidades reservas.

Quando se utiliza mais de uma bomba para uma mesma função, quer seja como reserva a auxiliar, elas são instaladas em paralelo. Instalação em paralelo é aquela em que as tubulações de sucção e de descarga de cada bomba são conectadas em tubulações comuns de sucção de descarga da instalação, isto é, todas as bombas seccionam de uma mesma linha ou coletor geral e descarregam também através de uma mesma linha ou coletor geral da instalação.



Nestas instalações, cada bomba tem as suas válvulas individuais de sucção, retenção e descarga que permitem isolá-la do sistema quando ela não está em funcionamento.

1.3 Classificação das Bombas Centrífugas

A) De acordo com a posição do eixo:

A1) Bombas de eixo horizontal: são as mais comuns e aplicáveis para todos os fins, figura 1.

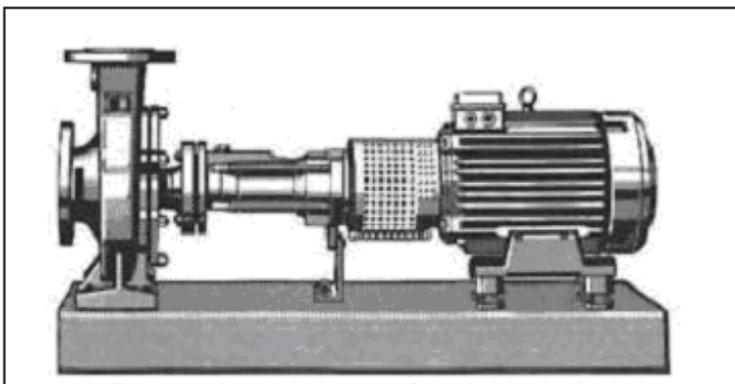
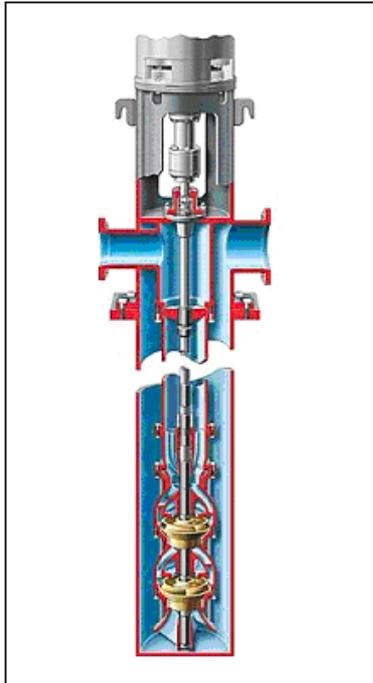


Figura 1 - Bomba Centrífuga - Eixo Horizontal

A2) Bombas de eixo vertical: são aplicadas devido a determinadas particularidades no sistema: economia de espaço; problema com a altura de sucção (NPSH); etc. As bombas verticais são mais usadas para seccionar líquidos de reservatórios baixos, em forma de poço. Trabalham geralmente imersas no líquido.



**Figura 2 - Bomba Centrífuga
Eixo Vertical**

B) De acordo com o modo de entrada do líquido na bomba:

B1) Bombas com impelido de sucção simples. Estas bombas são utilizadas sempre que a vazão desejada não for elevada. É o caso da figura 1.

B2) Bombas de sucção dupla, neste caso, o líquido entra por ambos os lados (ver figura 3). Estas bombas são particularmente adotadas para grandes capacidades.

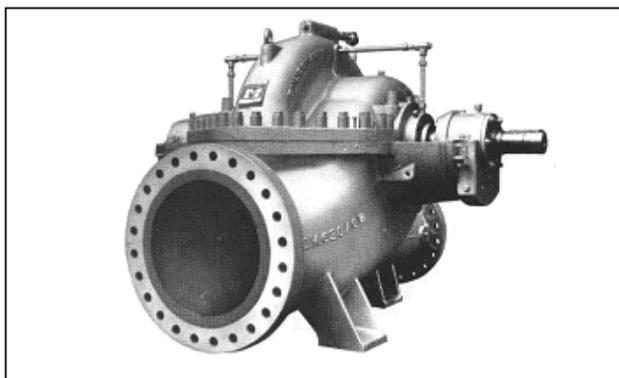


Figura 3 - Bomba Centrífuga de Dupla Sucção

C) De acordo com o número de impelidores

C1) Bombas de um estágio, constituídas de um único impelido, são aplicáveis a todos os fins. Figura 1.

C2) Bombas de dois ou mais estágios (multe estágios). Constituídas de dois ou mais impelidores em série, são particularmente aplicáveis quando temos grande altura manométrica. Ver figas. 4 e 2.

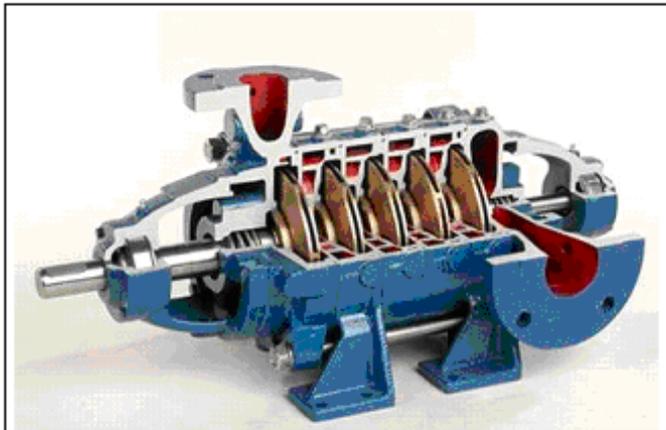
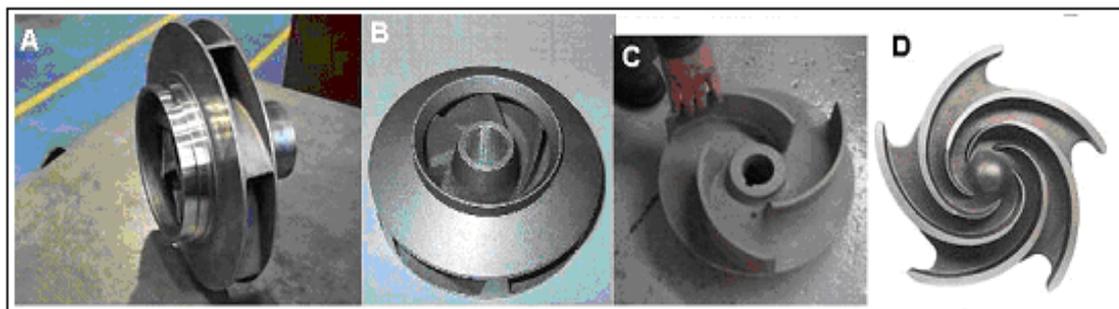


Figura 4 - Bomba Centrífuga - 5 estágios

C) Quanto ao tipo de rotor:



**Figura 5 - Impelidores: A e B são impelidores fechados de simples sucção
C impelidor semi-aberto; D impelidor aberto**

D1) Rotor aberto, figura 5 D, consiste de aletas unidas ao cubo central do eixo sem nenhuma parede ou saia. São utilizados em pequenas bombas e em bombas maiores quando o líquido apresenta sólidos em suspensão para evitar entupimento e abrasivos.

Apresenta baixo rendimento volumétrico devido a recirculação do líquido da descarga para a sucção, para minimizar a recirculação são colocados anéis entre a carcaça e o rotor. Em geral estes rotores são mais baratos.

D2) Rotor semiaberto incorpora uma saia, ou uma placa que apoia as aletas. Esta saia ou placa pode possuir ou não na parte traseira, algumas pequenas aletas, cuja função é reduzir a pressão na parte traseira do rotor e impedir que a matéria estranha aloje neste local e interfira no desempenho da bomba. Figura 5 C.

D3) Rotor Fechado de Simples sucção é usado quase universal nas bombas centrífugas que manuseiam líquidos limpos, constitui saias ou placas fechadas com aletas direcionadas do olho da sucção até a periferia do rotor. O tipo de aletas pode variar, por exemplo, na figura 5 (A e B) são do tipo **Francis**, onde a superfície das pás possui dupla curvatura, ele é também chamado de (**Francis-score-Vane ou screw-vane impeller**) outro tipo é o da figura 6 (impelidor de pás retas ou **straight - vane**) sendo chamado de impelidor de pás de simples curvatura. Este tipo de construção é o melhor para as bombas de simples sucção.

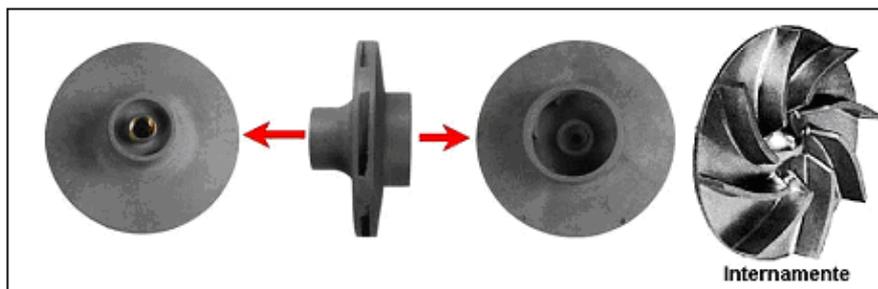


Figura 6 - Rotor Fechado - Tipo pás retas (Straight - Vane)

D4) Rotor Fechado de dupla sucção este rotor apresenta dois bocais de sucção conforme figura 7, abaixo:

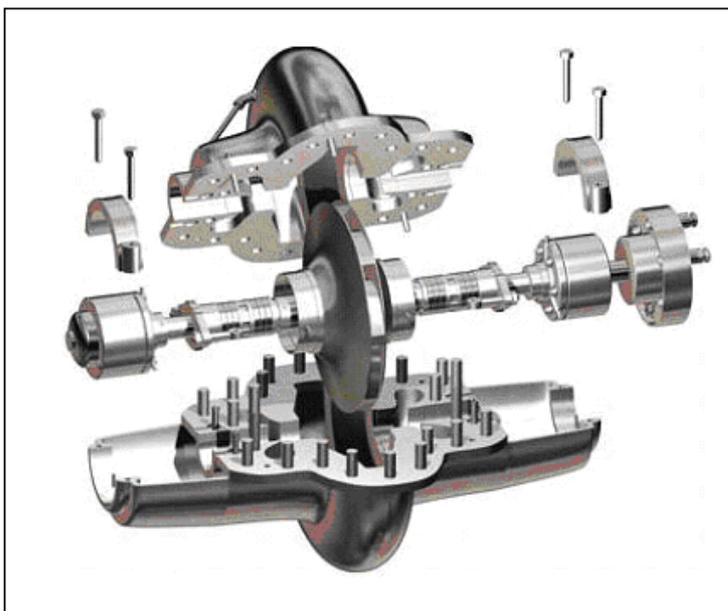


Figura 7 - Impelidor Fechado de Dupla Sucção

E) Quanto a forma de abertura das carcaças, para manutenção, figura 8: A carcaça da bomba geralmente é dividida em duas partes, aparafusadas uma a outra, para facilitar o serviço de manutenção do equipamento. Assim a bomba pode ser aberta, removido o conjunto eixo rotor, sem necessidade de remoção das tubulações de sucção e descarga da bomba.

E1) A carcaça pode ser bipartida no sentido radial, para pequenas bombas. Nas bipartidas radialmente, temos maior facilidade de vedação.

E2) A carcaça pode ser bipartida no sentido axial, para médias e grandes bombas. A vantagem essencial das carcaças bipartidas axialmente ou horizontalmente é a facilidade de manutenção;

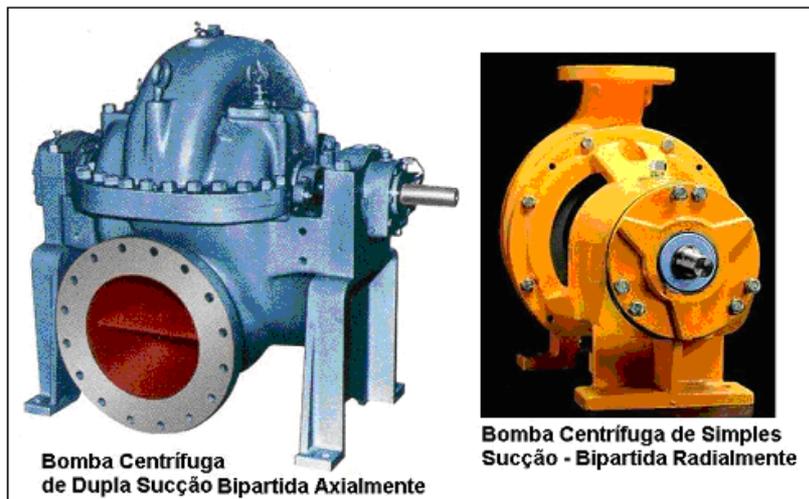


Figura 8 - Forma de Abertura das Carcaças

1.3.1 Hélico centrífugas ou Mixed Flow

Quando o movimento geral do líquido dá-se em direção inclinada em relação ao eixo de rotação. São bombas de altíssima vazão chegando à ordem de 50.000 m³/hora. A sua rotação varia de 4.500 a 9.000 rpm. A entrada do fluido é axial e a saída radial. Figura 9.

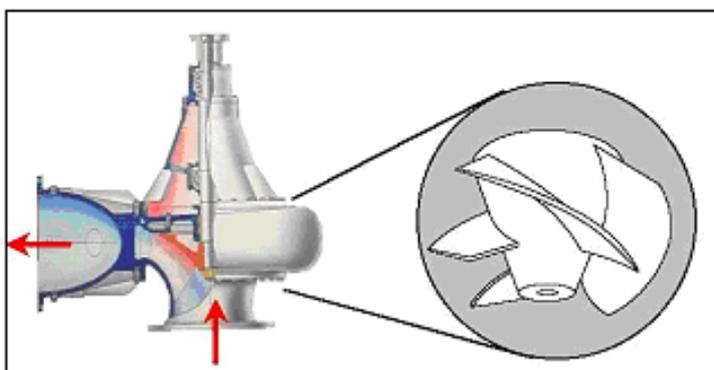


Figura 9 - Bomba Helico-Centrífuga ou Mixed-Flow

1.3.2 Axiais ou Helicoidais

Quando o movimento geral do líquido dá-se em direção paralela em relação ao eixo de rotação. São bombas de baixas pressões diferenciais e altíssimas vazões chegando à ordem de 50.000 m³/hora. Opera em altas rotações em torno de 9.000 rpm.

Figura 10.

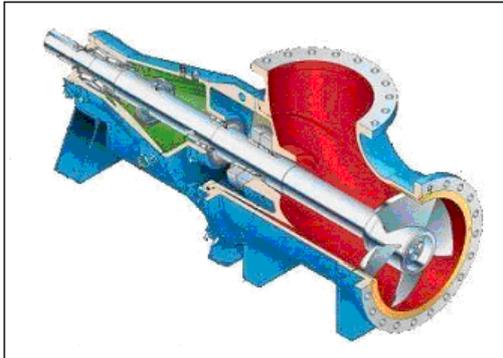


Figura 10 - Bomba Axial ou Helicoidal

1.3.3 Turbina

São também conhecidas como *periférica* e *regenerativa* figura 11.

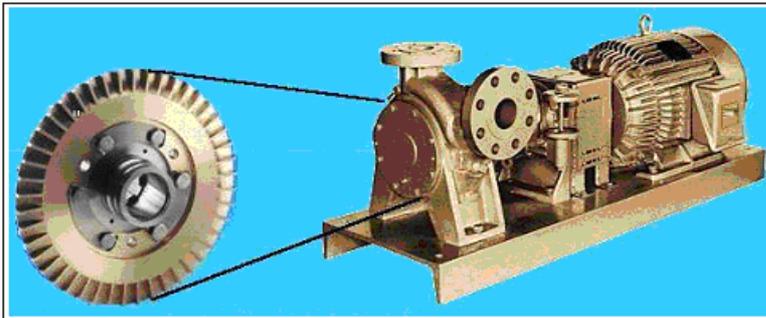


Figura 11 - Bomba Turbina e Rotor

O nome bomba tipo turbina é derivado da grande quantidade de líquido movimentado na periferia do impelidor rotativo. A energia é transferida ao líquido através de um grande número de impulsos figura 12.

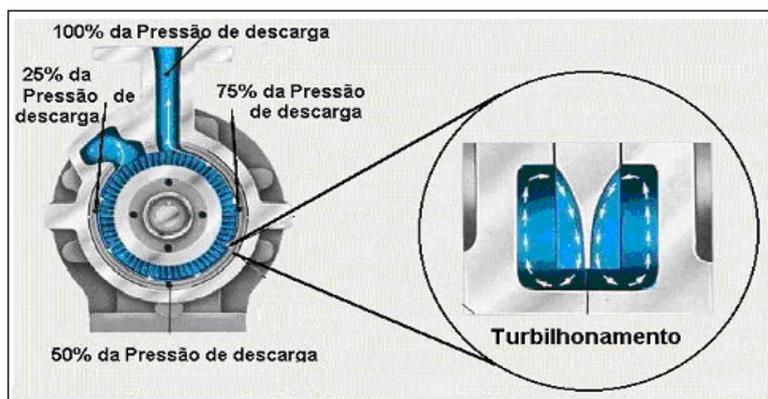


Figura 12 - Esquema de Funcionalismo da Bomba Turbina

Apresentam uma boa eficiência nas áreas aplicação de baixo fluxo e grande altura manométrica. Chegando em determinados casos atingir 274m em um único estágio. A boa eficiência é consequência das pequenas folgas existentes entre o rotor e os anéis do canal, minimizando recirculação de líquido. A pressão do líquido é ganha a medida que segue desde a entrada até a saída do rotor, ver desenho.

As bombas turbinas pela sua característica permitem bombear líquidos em ebulição e gases liquefeitos na sucção, ligeiramente acima da pressão de vapor.

As bombas turbinas também têm maiores eficiências a fluxos baixos do que as bombas centrífugas. As bombas turbinas utilizadas são normalmente utilizadas em aplicações com líquidos limpos e viscosidade até 500 SSU.

1.3.4 Características

As grandezas características mais importantes de uma bomba são:

- Vazão (ou capacidade);
- Altura manométrica;
- A potência;
- Eficiência (ou rendimento).

1.3.5 Vazão

É a quantidade de líquido bombeado na unidade de tempo (m^3/h , Litro/min, GPM, etc.).

1.3.6 Altura manométrica

É a altura de coluna líquida que a bomba seria capaz de manter na sua descarga se não houvesse resistência alguma a passagem do líquido por parte da tubulação e seus acessórios.

1.3.7 Potência

É a quantidade de energia consumida pela bomba na unidade de tempo. Potência útil da bomba é a energia efetivamente entregue ao líquido na unidade de tempo.

1.3.8 Eficiência (ou rendimento)

É a razão percentual entre a potência útil e a potência consumida pela bomba, ou seja, a relação entre a potência entregue pela bomba ao líquido e a potência recebida por ela do acionador.

A relação entre estes valores (altura manométrica, potência, eficiência e vazão) dá as *características da bomba*. As curvas características de uma bomba centrífuga pode ser mostrada gráfica em uma curva.

Uma curva característica típica, mostra a altura manométrica dinâmica total, a potência BHP (brake horsepower), a eficiência, NPSHRequerido (a altura manométrica positiva líquida da sucção), são traçadas em função da capacidade da bomba. Figuras 13, 14 e 15 são as curvas características, não-dimensionais que indicam a forma geral para os vários tipos de bombas. Mostram a altura manométrica, o BHP (potência), e a eficiência traçada como porcentagem de seus valores no projeto ou no melhor ponto da eficiência da bomba.

A figura 13, abaixo mostra que a curva da altura manométrica para uma bomba do fluxo radial é relativamente achatada e diminui gradualmente enquanto o fluxo aumenta. Note que a potência aumenta gradualmente em função do fluxo, atingindo o máximo normalmente no ponto do fluxo máximo.

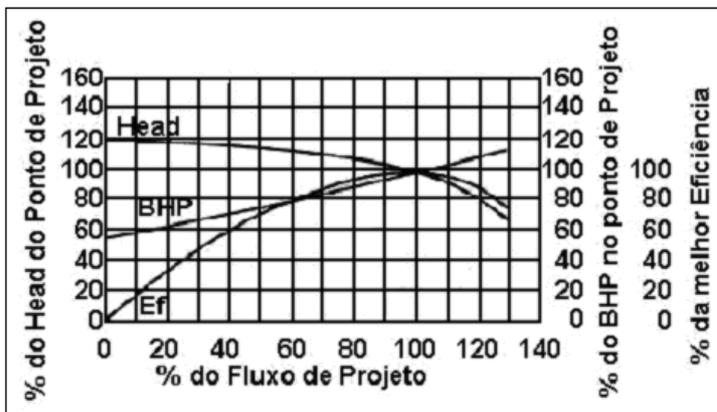


Figura 13 - Curva Característica - Bomba Radial

As bombas hélico-centrífugas ou "mixed-flow" e as bombas do fluxo axial ou helicoidal têm características consideravelmente diferentes como mostrado nos figs. 14 e 15 abaixo.

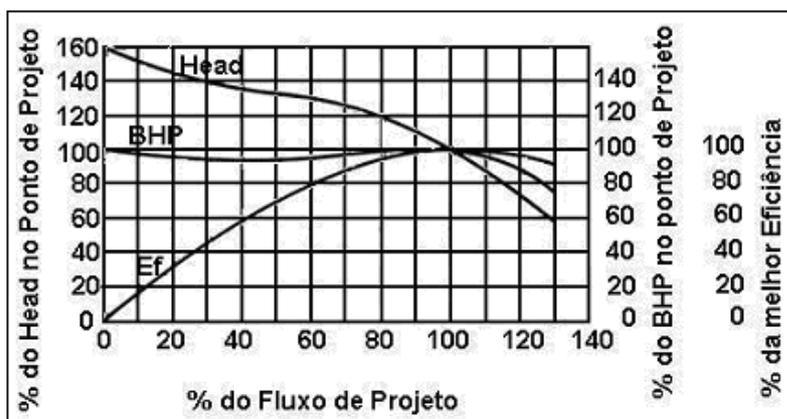


Figura 14 - Curva Característica - Mixed Flow

A curva característica para uma bomba hélico-centrífugas ou "mixed-flow" é mais íngreme do que para uma bomba do fluxo radial. A altura manométrica ou "head" do "shut-off" é geralmente 150% a 200% do "head" do projeto, permanecendo a potência razoavelmente constante em função do fluxo.

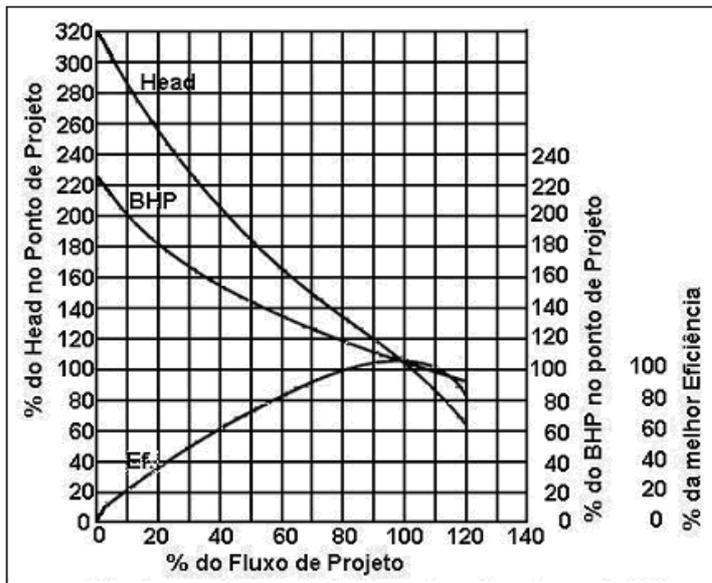


Figura 15 - Curva Características - Bomba Fluxo Axial

Para uma bomba típica de fluxo axial, o "head" e a potência, ambos aumentam drasticamente perto do "shut-off" como mostrado na fig. 15. A distinção entre as três classes acima não é absoluta, e há muitas bombas com as características que se posiciona entre os três. Por exemplo, o impulsor da aleta de Francis teria uma característica entre o radial e a "Mixed Flow". A maioria de bombas da turbina está também nesta mesma escala dependendo de suas velocidades específicas.

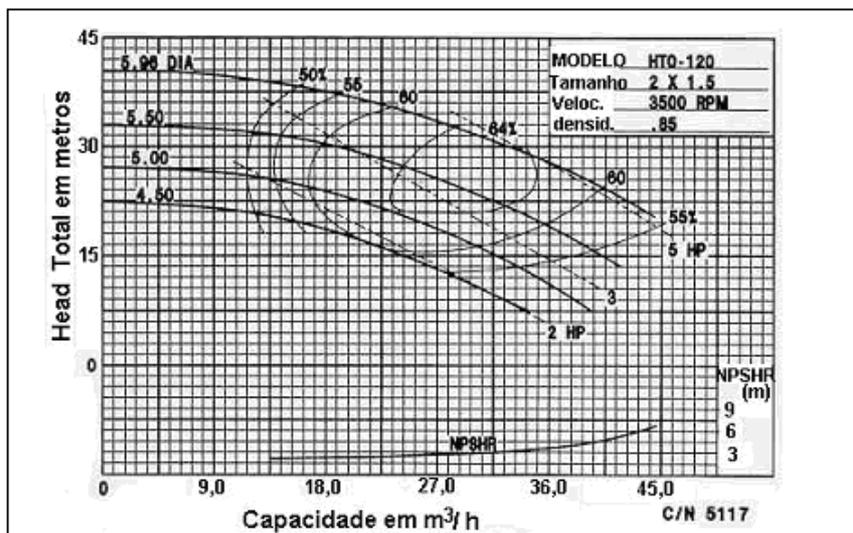


Figura 16 - Curvas Características de Bomba Centrífuga Radical

A Figura16: mostra acima uma curva típica da bomba como fornecida por um fabricante.

É uma curva composta abrangendo vários diâmetros do impedor (rotor) do máximo ao mínimo.

A potência, a eficiência, e as linhas constantes de **NPSH_{REQUERIDO}** são plotadas em função da vazão. É composto das curvas do teste individual em vários diâmetros.

1.4 Componentes das Bombas Centrífugas

Tendo-se em vista, a maioria das turbo bombas existentes serem centrífugas puras ou radiais é usual na prática denominarmos as turbo bombas simplesmente por bombas centrífugas.

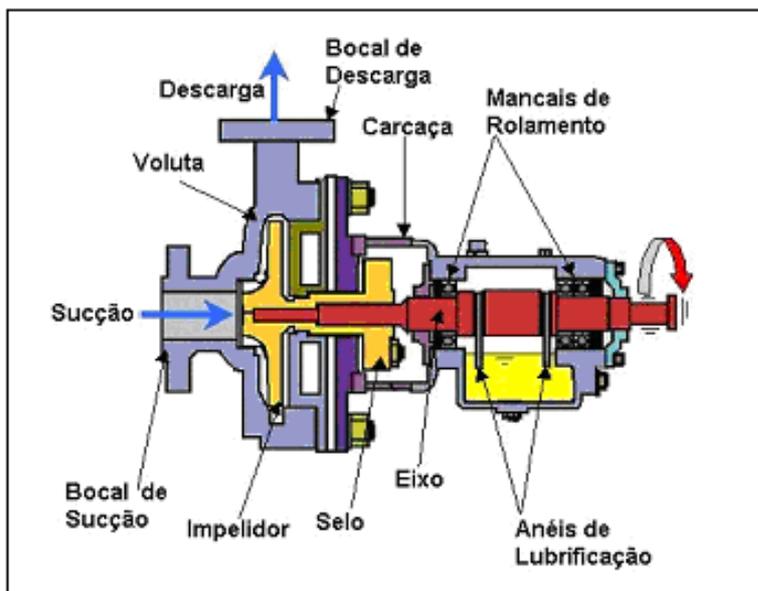


Figura - 17 - Componentes de uma Bomba Centrífuga

Faremos agora um estudo das principais componentes das bombas centrífugas assim sendo estudaremos. Os componentes principais de uma bomba centrífuga são:

1.4.1 Carcaça (ou corpo) (Casing)

- Eixo (Shaft)
- Rotor (ou impelidor) (impeller)
- Luva do eixo (Shaft sleeve)
- Câmara de vedação (ou caixa de gaxetas) (Stuffing Boxes)
- Mancais (Bearing)
- Selos mecânicos (Mechanical Seals)
- Acoplamentos (Coupling)
- Anéis de desgaste (Wearing rings)

Carcaça de uma bomba centrífuga é a parte fixa dentro da qual gira o rotor. Possui as aberturas para entrada até o centro do rotor e saída do líquido para a tubulação de descarga. A entrada do líquido na carcaça recebe o nome de sucção ou admissão, e a saída recebe o nome de descarga.

Fundido juntamente, ou a ela preso mecanicamente, tem a câmara (ou câmaras) de vedação e a caixa (ou caixas) de mancal. Possui na sua parte superior um orifício para suspiro, e na parte inferior um outro para drenagem.

Há ainda as conexões para tubulações de "*líquido de selagem*" e "*líquido de resfriamento*" quando estes são necessárias na bomba. Os materiais geralmente empregados na sua fabricação podem ser de ferro fundido, aço fundido, bronze e aços ligam.

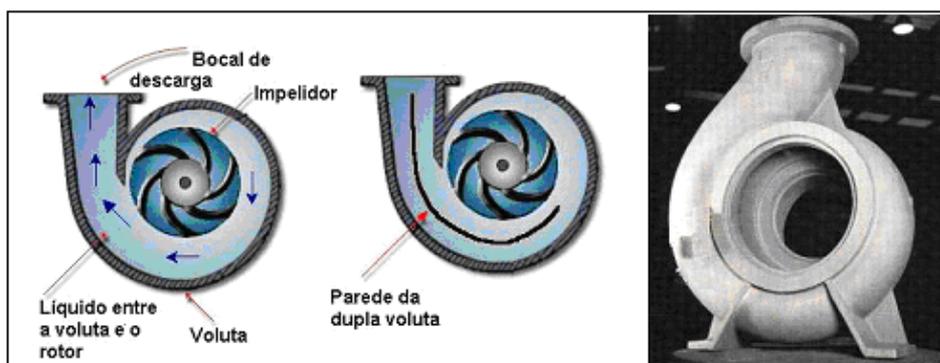
No caso mais simples de corpo de bomba centrífuga, a sua parte interna possui um formato especial para receber o líquido lançado pelo rotor, sem muita perda de carga.

Uma função da carcaça é reduzir a velocidade na saída do impelido e converter esta energia de velocidade (energia cinética) em energia de pressão, o que é feito por meio da voluta (figura 18) ou do difusor (figura 19).

Assim podemos classificar as carcaças em:

- Carcaça em voluta;
- Carcaça com difusor

A carcaça em voluta apesar de ter boa eficiência são praticamente utilizadas nas bombas horizontais de simples estágio, devido dificuldades de construção.



**Figura - 18 - Bomba Centrífuga - Tipo Voluta: A - simples Voluta
B - dupla Voluta**

Nas bombas com carcaça em voluta, há o aparecimento de uma reação radial (F), quando a capacidade de operação for diferente da capacidade de projeto. A reação radial (F) varia com a capacidade conforme a figura 19.

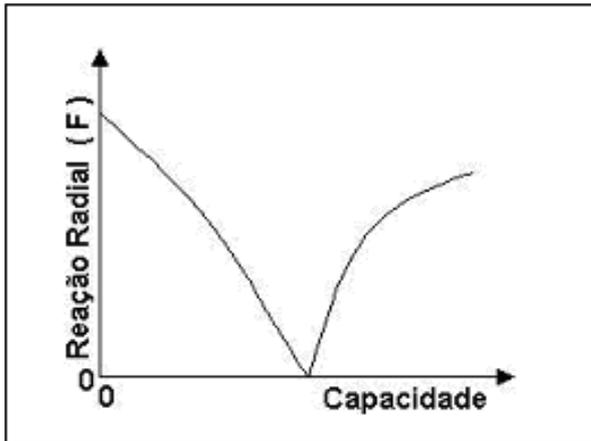


Figura 19 - Reação Radial

Assim sendo, sempre que a bomba for especificada para trabalhar durante algum tempo em capacidades diferentes das condições de projeto, deve-se notificar ao fabricante.

Dois medidas são aconselháveis para reduzir o efeito da reação radial

- 1) Procurar sempre na medida do possível dentro das condições de projeto;



Figura 20 - Reações radiais em carcaça do tipo voluta

- 2) Usar carcaça de dupla voluta, figuras 18 e 20.

Devemos ainda observar que apesar de terem boa eficiência, as carcaças em voluta são praticamente utilizadas nas bombas horizontais de simples estágio, devido a dificuldades de construção.

1.4.2 Os difusores

São chicanas fixas na parte interna da carcaça da bomba que recolhem o líquido, lançado pelo rotor, e dão o encaminhamento na direção da descarga da bomba (fig. 21). Com os difusores, o rendimento é maior do que no primeiro caso.

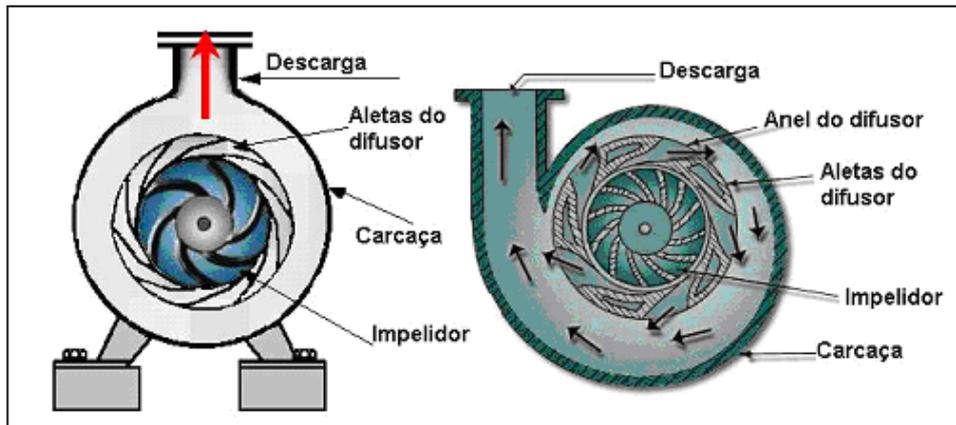


Figura 21 - Bomba Centrífuga com difusor

A carcaça com difusores é aplicada de um modo geral, com exceção das bombas horizontais de simples estágio que predomina a carcaça em voluta.

Os difusores nas bombas de múltiplos estágios, têm a função de dirigir o fluxo da descarga de um estágio para a sucção do estágio seguinte. Estas bombas de múltiplos estágios são do tipo de alta pressão; o líquido tem sua pressão aumentada sucessivamente ao passar de um estágio para o seguinte. As bombas de alimentação de água para caldeiras são deste tipo.

Apresentam como vantagens:

- A ausência da reação radial;
- Maior facilidade de construção em relação as carcaças em voluta.

As carcaças com difusores são muito usadas em bombas de múltiplos estágios.

1.4.3 Eixo (Shaft)

É o componente que serve para transmitir o movimento de rotação do acionador ao rotor. Sendo conectada ao equipamento acionador através do acoplamento, o 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 a fadiga devido às cargas rotativas que surgem em operação.

“Também por questões de vida útil do selo mecânico a deflexão do eixo na face da caixa de gaxetas não deve ser superior a 0,002 (polegadas) (0,05 mm)”.

O ponto mais importante a 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, sob a forma de uma força centrífuga, que provoca deflexão e vibração. A mais baixa velocidade crítica é chamada de 1ª crítica, a seguinte de 2ª crítica e assim por diante.

Quando a bomba opera acima da primeira velocidade crítica, diz-se que o eixo é flexível e quando opera abaixo, diz-se que o eixo é rígido.

O eixo tanto pode ser projetado para trabalhar como flexível ou rígido desde que no primeiro caso a velocidade crítica seja de 60 a 75% da velocidade de trabalho e no segundo, no mínimo 20% acima. Geralmente bombas que operam a 1750 rpm têm eixo rígido e as que operam a 3500 rpm possuem eixo flexível. Bombas de múltiplos estágios têm eixos flexíveis.

Eixos suportados nos dois extremos, que possuem o rotor no centro, têm o diâmetro o máximo no local de montagem do rotor. Eixos de bombas com rotor em balanço têm o diâmetro máximo entre os rolamentos. A ponta de eixo é projetada para resistir ao máximo torque que pode ocorrer em trabalho. Existem bombas que têm eixo comum com o acionador (bombas monobloco), geralmente de pequeno porte. O eixo assenta nos apoios rotativos (mancais) da bomba e a ele é fixado o rotor (ou rotores, no caso de múltiplos estágios). Geralmente são fabricados em aço fundido e aço liga. Figura 22.

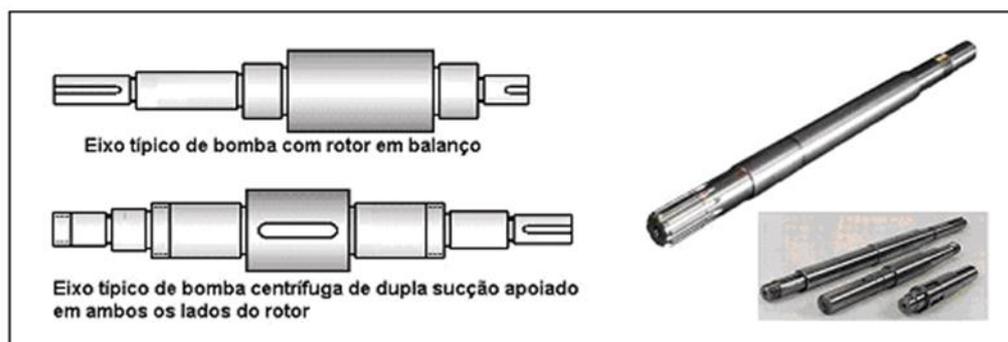


Figura 22 - Eixo da Bomba

1.4.4 Rotor ou Impedidor (Impeller)

É o componente rotativo, fixo ao eixo, que transmite a energia mecânica ao líquido em bombeamento. É o coração da bomba centrífuga.

Quanto ao tipo de rotor podem ser classificadas como rotor *aberto*, *semi-aberto* e *fechado* (ver figuras 5, 6 e 7). O mais encontrado é o fechado, dos três tipos; este é o que dá maior rendimento e é empregado no bombeamento de produtos pouco viscosos. Para operação com produtos mais viscosos, borras e com suspensão de sólidos, são empregados os rotores dos tipos semi-abertos e aberto. Do seu formato e dimensões relativas vão depender as características da bomba. Os materiais usualmente empregados na fabricação de rotores são ferros fundidos, aços fundidos, bronzes e aços liga.

Em bombas de múltiplos estágios, os impelidores de sucção simples são universalmente usados devido, projeto, custo inicial e a complexidade de fabricação que o estágio de dupla ação introduz.

Anéis de Desgaste a figura 23, mostra uma bomba em corte, onde são mostrados o rotor e os "anéis de desgaste".

São peças montadas só na carcaça (estacionário), só no rotor (rotativo) ou em ambos e, que mediante pequena folga operacional, fazem a separação entre as zonas onde imperam as pressões de descarga e sucção, evitando assim um retorno exagerado de líquido da descarga para a sucção.

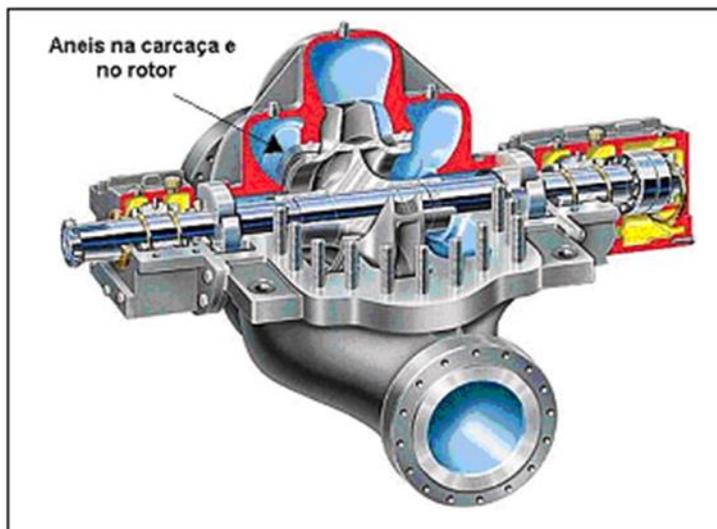
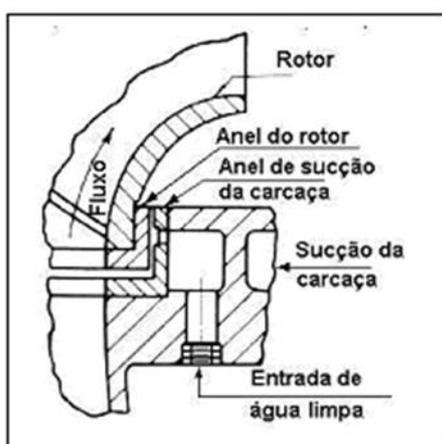


Figura 23 - Bomba centrífuga de Dupla sucção em corte com anéis de desgaste na carcaça e no rotor

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

Bombas usadas em 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 anéis, refazendo assim as folgas originais.

Em bombas de maior porte, tanto a carcaça e o rotor são providos com anéis de desgaste. Os anéis são substituídos quando a folga diametral fica o dobro da folga original. Deve-se ressaltar que, conforme se aumenta a folga diametral dos anéis de desgaste, nota-se uma redução na eficiência da bomba (o refluxo de líquido da descarga para a sucção aumenta).



**Figura 24 - Anel de desgaste tipo:
Construção Slurry**

Em alguns casos, quando o líquido bombeado possui abrasivos em suspensão, podem-se fazer anéis que possuem um dispositivo para lavagem por líquido limpo, das superfícies de desgaste (é a chamada construção Slurry). Vide figura ao lado figura 24.

O anel desgaste tipo "*construção Slurry*" é um recurso utilizado quando o equipamento opera sob severas condições de serviço. Fluidos de alta temperatura e com grande quantidade de sólidos abrasivos em suspensão.

Injeta-se, entre anéis e na bucha da caixa de gaxetas, um óleo especial "*flush oil*" que deverá ser compatível com o fluido bombeado. Evitando-se, assim, que sólidos se depositem entre os anéis.

A pressão que deverá ser injetada o óleo de lavagem será de 15 a 20 psi (1,05 a 1,4 kgf/cm²).

O tipo mais indicado de construção do anel varia com as características do líquido bombeado, a pressão diferencial através dos anéis, da velocidade periférica e mesmo com o projeto da bomba. A figura 25 mostra diversos tipos de combinações de anéis de desgaste.

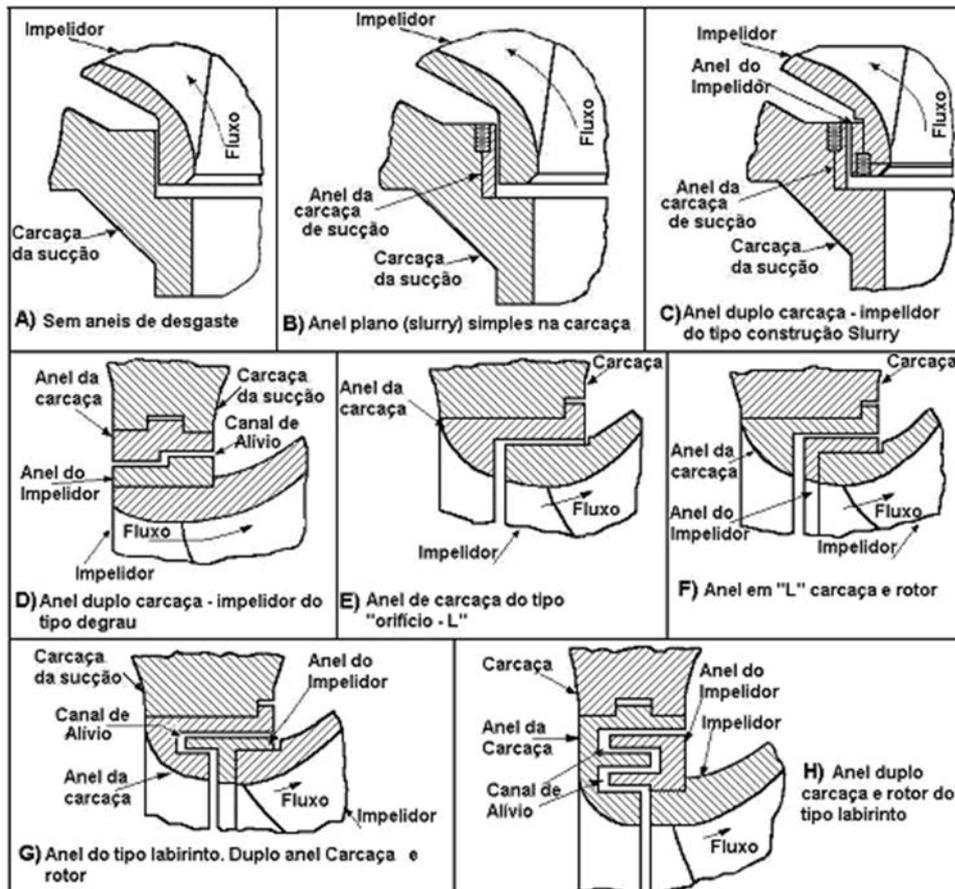


Figura 25) Vários Tipos de Anéis de desgaste utilizados na carcaça e no rotor

A folga entre anéis pode ser radial, como na maioria dos casos ou axial como algumas bombas de lama.

A montagem dos anéis de desgaste e sua fixação podem ser feitas por pino, montagem por interferência, fixação por parafuso ou solda. Algumas normas de construção indicam que, além de interferência, é necessária a fixação por solda, isto geralmente ocorre onde aplicações a altas temperaturas estão envolvidas, para evitar que a dilatação solte o anel.

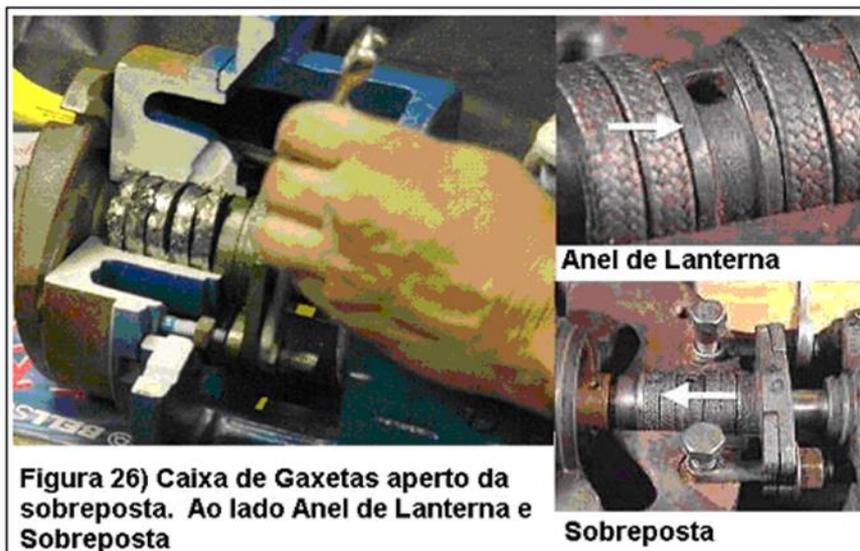
1.5 Sistema de Vedação

Em todo o equipamento para movimentação de fluidos faz-se necessária a vedação da parte onde o eixo atravessa a carcaça para se ligar ao rotor. Desse modo, os equipamentos são munidos de uma câmara cilíndrica em volta do eixo onde se localizam os elementos vedantes formando o sistema de vedação ou selagem.

Essa câmara, no caso das bombas é parte de uma peça presa à carcaça por meio de parafusos denominada caixa de gaxetas ou caixa de selagem (*stuffing box*). Os elementos vedantes adaptados a caixa de selagem podem ser do tipo anéis de gaxeta ou selos mecânicos.

1.5.1 Caixa de Gaxetas

É a parte (*figura 26*) onde e feita a "selagem", impedindo que o líquido que está sendo bombeado saia de dentro da carcaça pelo buraco por onde passa o eixo. É uma das partes mais importantes da bomba centrífuga. Mesmo ligeiros defeitos na sua construção ou condição, podem impedir o funcionamento satisfatório da bomba.



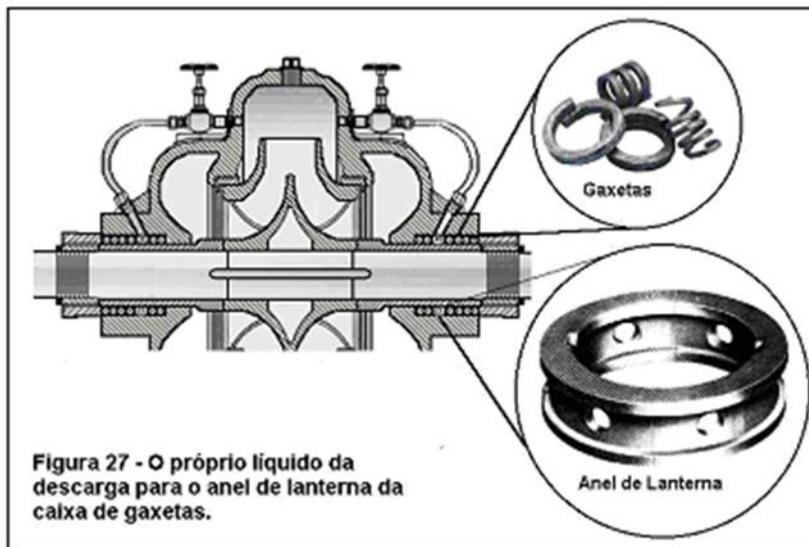
Assim sendo, se uma bomba opera com altura manométrica de sucção negativa (suction lift), tendo a pressão no interior da caixa de gaxetas inferior a pressão atmosférica, sua função é evitar a entrada de ar para dentro da bomba. Entretanto, se a pressão é acima da atmosférica, sua função é evitar vazamento de líquido para fora da bomba.

1.5.2 Selagem da Caixa de Gaxetas

Como há movimento relativo entre eixo e anéis de gaxeta, deve haver lubrificação das superfícies em contato para evitar desgaste prematuro e superaquecimento.

Esta lubrificação é feita geralmente com o próprio líquido que está sendo bombeado, simplesmente regulando-se o aperto dos anéis de gaxeta pela sobreposta e um ponto importante no sistema de vedação com gaxetas:

"Sempre deve haver um mínimo de vazamento, responsável pela lubrificação. O fluxo é da ordem de 40 a 60 gotas por minuto".



Sem esta lubrificação o desgaste do eixo (ou da luva do eixo figura 28) na região das gaxetas seria prematuro e o aquecimento excessivo. No caso de bombas de multe estágios a conexão pode ser feita com um estágio intermediário.

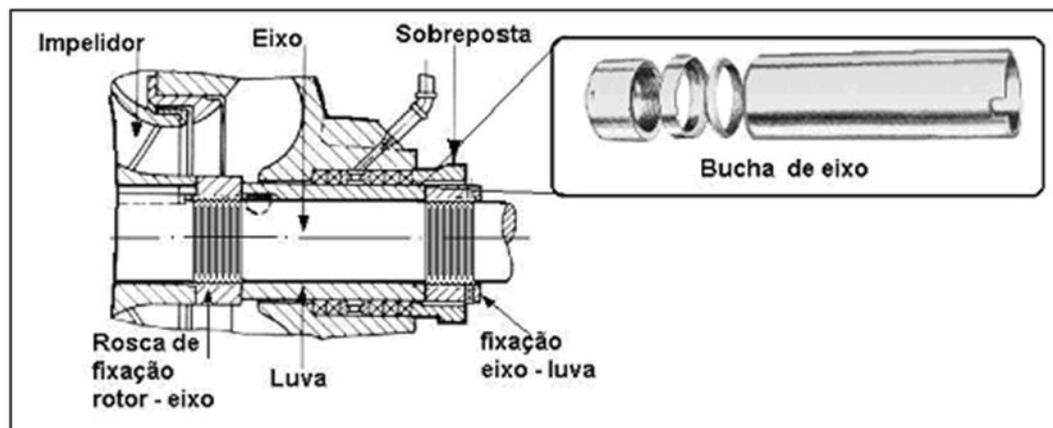


Figura 28 - Luva suporte das gaxetas

Quando é um líquido diferente, ele é de composição parecida com a do líquido em bombeamento e é sempre um líquido de processamento.

O líquido de selagem é introduzido no anel de lanterna com uma pressão maior ou igual a pressão de sucção da bomba.

Quando o líquido de selagem não é o próprio líquido em bombeamento, ele é seccionado por uma bomba de um tambor de alimentação fig. 29, e bombeado através de um resfriador para uma rede de distribuição.

Esta rede alimenta as diversas caixas de gaxetas de várias bombas. Depois de passar pelas caixas de gaxetas, o líquido de selagem volta ao tambor de alimentação.

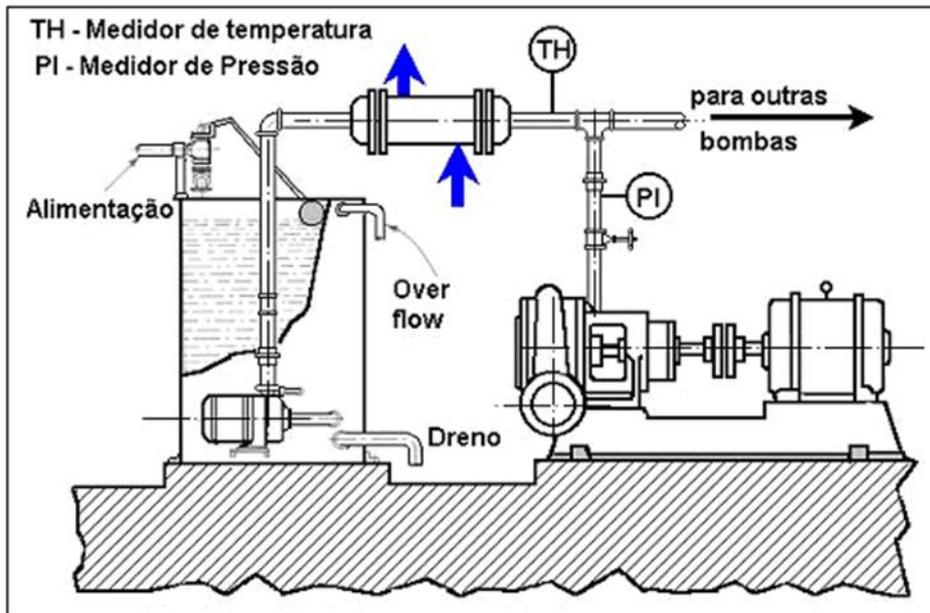


Figura 29 - Circuito fechado de Líquido de Selagem

A válvula da linha de líquido de selagem na entrada do anel de lanterna serve para regular a pressão do líquido de selagem sobre as gaxetas. Os medidores de pressão (PI) e de temperatura, (TH) servem para a verificação das condições de pressão e temperatura do líquido de selagem.

O sistema de gaxetas simples é empregado com sucesso para líquidos de no mínimo 0,60 de densidade. Para líquidos quentes de processamento de petróleo é muito usado o sistema de gaxetas com líquido de selagem. No bombeamento de líquidos muito voláteis o sistema mais adequado é o do selo mecânico.

Para bomba de serviços gerais, a caixa de gaxeta usualmente tem a forma de uma caixa cilíndrica que acomoda um certo número de anéis da gaxeta em volta do eixo ou da luva da eixo por uma sobreposta. A finalidade desta luva é evitar custo muito elevado, na manutenção, que por ocasião de seu desgaste é substituída com menor custo daquele que se teria com a substituição do eixo.

Um suprimento independente de água de selagem deve ser feito se uma das seguintes condições existirem:

- A) Suction Lift maior que 4,5 m;
- B) Pressão de descarga abaixo de 0,7 kgf/cm² (ou 7m de coluna ou Head);
- C) Água quente (temperatura maior que 120 ° C) sendo bombeada sem a de qu a do resfriamento;
- D) Água suja ou arenosa, sendo bombeada;
- E) O líquido sendo bombeado diferente água, como ácido e líquidos viscosos, sem ter havido atenção especial no projeto da caixa de gaxetas para a natureza do líquido.

1.5.3 Qualidade das Gaxetas

As gaxetas devem ser confeccionadas com materiais:

- A) Maleáveis para facilitar a moldagem ao eixo e poder sofrer apertos sob pressão da sobreposta;
- B) Deve ser compatível com o líquido bombeado;
- C) A perda de volume deve ser lenta e gradual;
- D) Não deve causar abrasão ou corrosão nas partes metálicas.

1.5.4 Principais tipos

- a- Filamento ou folha fina metálica (alumínio, cobre, babbitt, inconel) impregnada com grafite ou óleo lubrificante.
- b- Em substituição ao amianto grafitado, fibras sintéticas impregnadas com grafite ou teflon.
- c- Grafite flexível.
- d- Fibra de carbono com grafite flexível.
- e- Fibras de carbono com PTFE grafitado e alma de silicone.
- f- Fibras de linho com teflon.
- g- Fios de aramida e PTFE com grafite.

Observação:

Existem vários outros tipos de gaxeta no mercado para os mais diversos serviços.

 <p>A)</p>	 <p>B)</p>	 <p>C)</p>	 <p>D)</p>	 <p>E)</p>
<p>A)Aramida e fibra de PTFE impregnada em óleo alto ponto de fulgor Serviços: - 50 °C a 250 °C 150 bar</p>	<p>B) PTFE e grafite Serviço: - 100°C a 260°C 20 bar</p>	<p>C) Fibra sintética PTFE e elastômero. Serviço: - 50 a 270 °C 100 bar</p>	<p>D) PTFE, fibra de vidro e outras. Serviços: -50°C a +290°C 100 bar</p>	<p>E) PTFE fibra e partículas Serviços: -100 a 250 °C 50 bar</p>
 <p>F)</p>	 <p>G)</p>	 <p>H)</p>	 <p>I)</p>	 <p>J)</p>
<p>F) Fios e fibras de PTFE impregnada com óleo de alto ponto de fulgor Serviço: - 100 a 280 °C 100 bar</p>	<p>G) Fibras de aramida, PTFE e grafite. Serviço: - 50 a 260 °C 100 bar</p>	<p>H)Fibra de rami impregnada com PTFE Serviço: - 30 a 120 °C 250 bar</p>	<p>I) Fibra impregnada com betume e grafite Serviço: - 40 a 95 °C 100 bar</p>	<p>J) Fibra de vidro impregnada com grafite Serviço: - 40 a 350 °C 70 bar</p>

Figura 30 - Tipos de Gaxetas

1.5.6 Selos Mecânicos (Mechanical Seals)

As caixas de vedação convencionais (caixa das gaxetas), bem como a composição das gaxetas são impraticáveis para uso como método de selagem para muitas condições de serviço. (Figura 31)

Nas caixas de gaxetas, a selagem entre o eixo ou a luva de eixo e a parte estacionária da caixa, é feita por meio de anéis de gaxetas colocadas entre as duas superfícies e mantidos apertados pela sobreposta da caixa de gaxetas.

O vazamento em volta do eixo é meramente controlado pelo maior ou menor aperto da sobreposta. As gaxetas, sendo de natureza sem plástica, amoldam-se mais com o aperto e tendem a eliminar o vazamento.

Entretanto, depois de um certo ponto, o vazamento continua não importando quão apertada esteja a sobreposta.

A potência de atrito aumenta rapidamente, o calor gerado não é bem dissipado e a caixa de gaxeta falha na sua função. Devemos ainda observar que mesmo antes que esta condição seja alcançada, a luva do eixo pode ser severamente danificada a tal ponto que se torna impossível a vedação satisfatória.

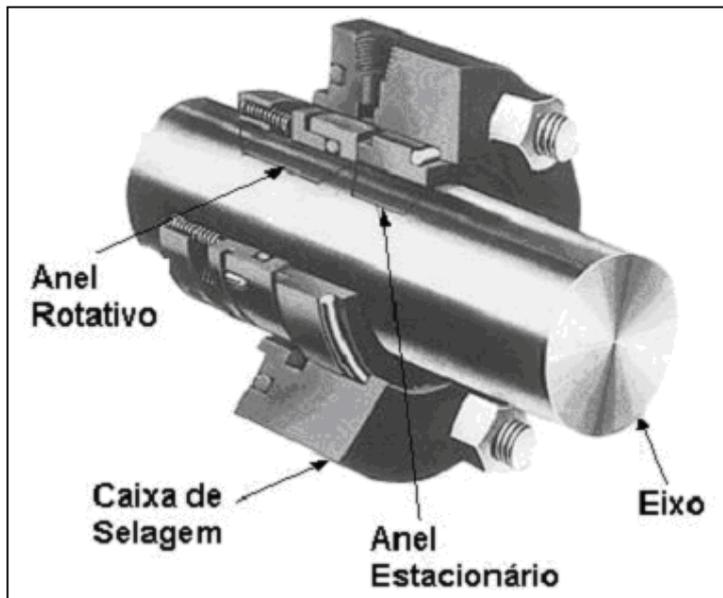


Figura 31 - Selo Mecânico

Estas características indesejáveis proíbem o uso da caixa de gaxetas, como método de selagem se o vazamento deve ser mantido mínimo sob severa pressão. Assim sendo, tornou-se necessário desenvolver um novo tipo de caixa de vedação conhecido por *selo mecânico*.

Esta forma de selo chamado selo mecânico foi desenvolvido para situações na qual as caixas de gaxetas apresentam deficiências excessivas. Entretanto, os casos em que as caixas de gaxetas dão bom serviço tem mostrado pouca tendência à substituição por selo mecânico. Em alguns casos ambos dão bom serviço e a escolha entre eles torna-se um problema de preferência pessoal ou de custo inicial.

1.5.7 Princípio dos Selos Mecânicos

Embora eles possam diferir em vários aspectos físicos todos os selos têm fundamentalmente o mesmo princípio de funcionamento. As superfícies de selagem de qualquer espécie são localizadas em um plano perpendicular ao eixo e usualmente consistem de duas superfícies adjacentes altamente polidas uma superfície é ligada ao eixo e a outra a parte estacionária da bomba.

Estas superfícies altamente polidas são mantidas em contato contínuo por uma mola formando um selo fluído entre as partes rotativas e estacionárias com muito pequenas perdas por atrito.

Quando o selo é novo o vazamento é muito pequeno podendo realmente ser considerado como inexistente. Naturalmente algum desgaste sempre ocorre e deve ser previsto com o tempo um pequeno vazamento.

Existem dois arranjos básicos para os selos mecânicos, que são:

a) Montagem interna (fig. 32).

Na qual o elemento rotativo está localizado dentro da caixa e em contato com o fluído bombeado.

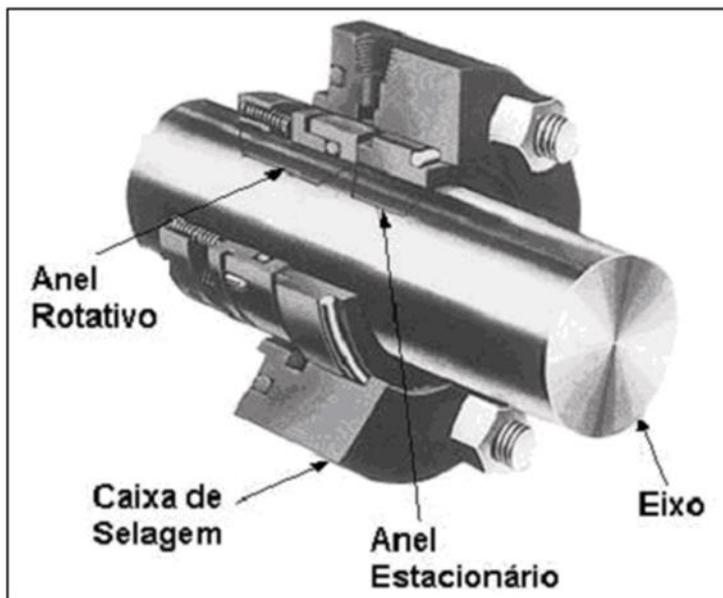


Figura 31 - Selo Mecânico

b) Montagem externa (fig. 33)

Na qual o elemento rotativo está localizado fora da caixa.

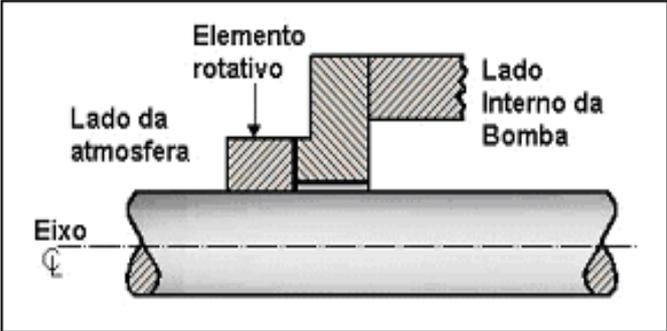


Figura 33 - Montagem Externa

Ambos os tipos tem sempre três pontos principais nos quais a selagem deve ser feita (fig. 34)

- 1- Entre o elemento estacionário e a carcaça.
- 2- Entre o elemento rotativo e o eixo (ou luva de eixo).
- 3- Entre as superfícies em contato dos elementos de selagem.

Para a selagem do 1º ponto, uma junta convencional ou anel em O (O-Rings), são usados.

O vazamento entre o elemento rotativo e o eixo é eliminado por meio de O-rings, fole ou cunha. O vazamento entre as superfícies em contato não pode ser eliminado mas pode ser mantido num valor Insignificante desde que se mantenha um contato bem firme entre estas partes.

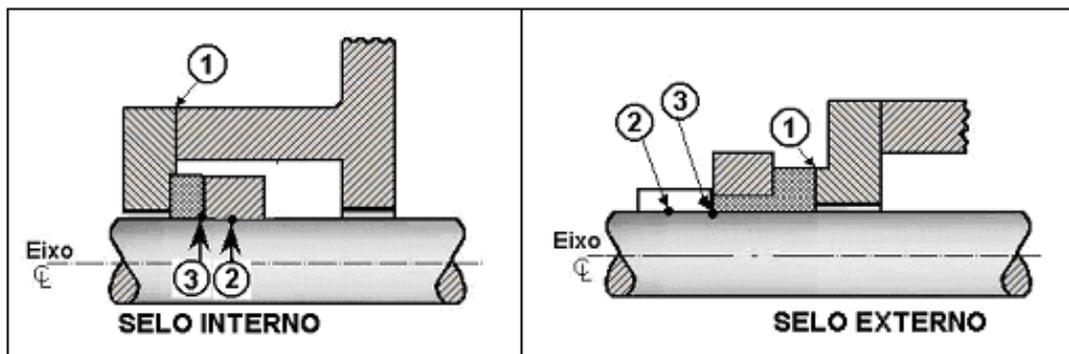


Figura - 34 - Pontos de selagem

1.5.8 Selo Mecânico Duplo

Este tipo é usado para bombas operando com fluídos altamente inflamáveis que não podem escapar para atmosfera. Ele é também aplicado para bombas operando com líquidos corrosivos ou abrasivos a temperaturas muito altas ou muito baixas. (figura. 35)

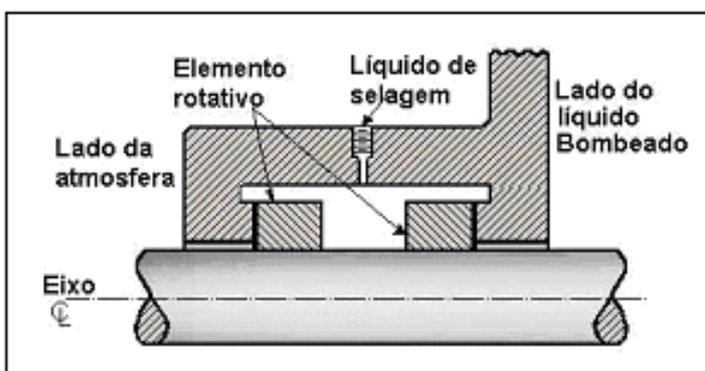


Figura 35 - Selo Mecânico Duplo

1.5.9 Selos Balanceados e Não Balanceados

Nos selos não balanceados (fig. 36) toda a pressão interna atua no sentido de juntar as faces. Se o líquido bombeado é bom lubrificante e as pressões não são excessivas, isto pode não ser danosa.

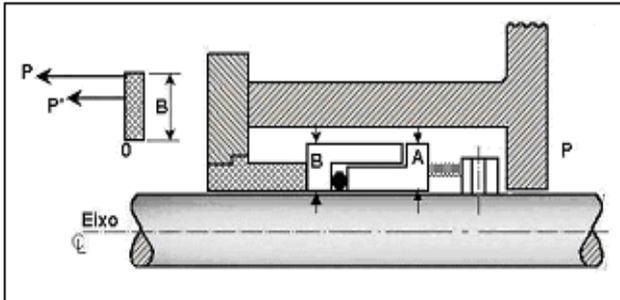


Figura 36 - Selo Não Balanceado

Diz-se que um selo mecânico é balanceado, figura 37, quando o projeto mecânico permite que a pressão exercida pelo líquido no interior do selo seja maior que o empuxo axial que mantém as superfícies selantes (primária) em contato. Isto é necessário quando a pressão do líquido bombeado é muito alta impedindo a formação de uma película entre as superfícies polidas, fato imprescindível para o movimento adequado do selo.

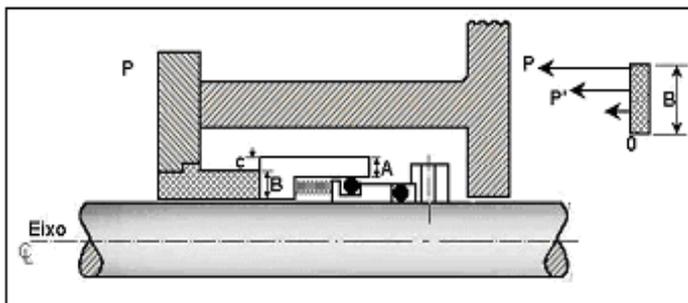


Figura 37 - Selo Balanceado

Sendo:

P = pressão do líquido sobre a caixa de selagem

P' = pressão média através das faces do selo

Da física a força é o resultado do produto pressão pela área:

$$F = \text{Pressão} \times \text{Área}$$

Então observando a figura 36, a força de fechamento é:

$$F = P (\text{área A}) + (\text{força da mola})$$

Isto limita a aplicação deste tipo de selo para pressões menores que sete a 10,5 kgf/cm² e para líquidos com propriedades lubrificantes iguais ou melhores que a gasolina.

Decorrente disto surgiram os selos balanceados (*figura37*) nos quais a força do fechamento é:

$$F = P (\text{área A} - \text{área C}) + (\text{força da mola})$$

Entretanto devemos observar que os selos balanceados não são particularmente adequados para pressões abaixo de 3,5 kgf/cm² pois a força de aproximação da face é reduzida a tal ponto que pode não ser suficiente para manter uma selagem adequada.

1.6 Esforços Axiais em Bombas de Simples e Múltiplos Estágios

a) As pressões geradas pelas bombas centrífugas exercem forças, tanto nas partes móveis quanto nas partes estacionárias. O projeto destas partes balanceia algumas destas forças, mas meios separados podem ser requeridos para contrabalançar outras. O esforço axial hidráulico é o somatório das forças não balanceadas agindo na direção axial do impelidor. Para bombas de sucção simples (Fig. 38) a esforço axial constitui problema principalmente para grandes unidades.

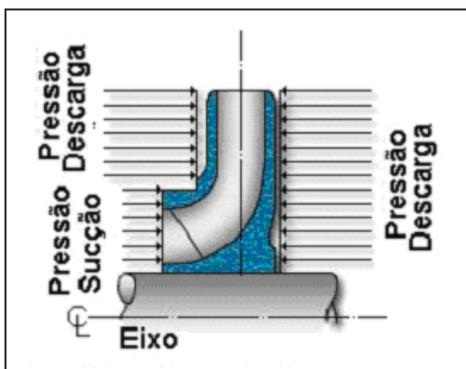


Fig. 38 - Sucção Simples Esforços Axiais

Já nas bombas de simples estágio com impelidor de sucção dupla, teoricamente as forças de um lado são contrabalançadas pelas do outro (fig. 39).

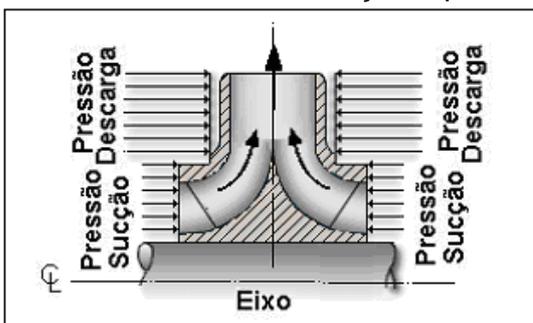


Fig. 39 - Dupla Sucção: Esforços Axiais

1.7 Esforços axiais em bombas de multe estágios.

Poderia parecer que as vantagens do balanceamento do esforço axial, bem como maior área de sucção, conduziria à aplicação dos impelidores de dupla sucção nas bombas de multi estágios.

Mas esta prática possui deficiências como:

1- A média das bombas de multi estágios possui capacidade relativamente baixa em comparação com o range coberto pelas modernas bombas centrífugas. Mesmo quando o impelidor de duplo estágio é desejável para o primeiro estágio, porém raramente será necessário para os restantes.

2- Aumento do diâmetro do eixo, para compensar o maior vão, vai reduzir a área de entrada do impelidor. O resultado é que a vantagem das melhores condições de sucção oferecida pelo Impelidor de dupla sucção é consideravelmente reduzida.

Estas e outras inconveniências, fazem com que a maioria das bombas de multi estágios, utiliza os impelidores de sucção simples, apesar do problema do empuxo axial.

1.8 Maneiras de balancear o esforço axial

- 1) Usar impelidores de dupla sucção quando adequado.
- 2) Furos de balanceamento (*balancinha holes*) (fig. 40).
- 3) Pás na parte posterior do impelidor (*Pump-out vanes on the back shroud of Impeller*).

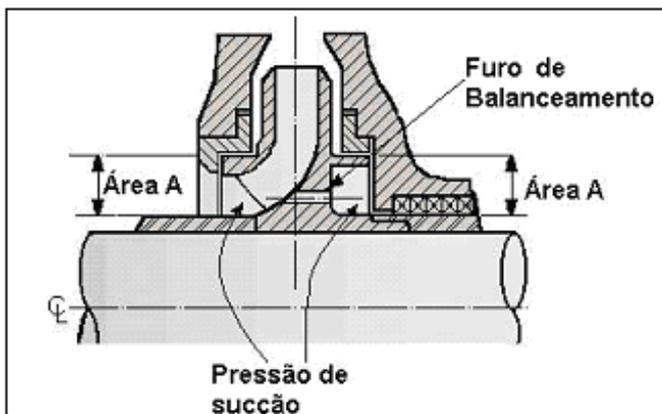


Fig. 40 - Furos de Balanceamento

4) Arranjo balanceado dos estágios em bombas de multi estágios (fig.41).

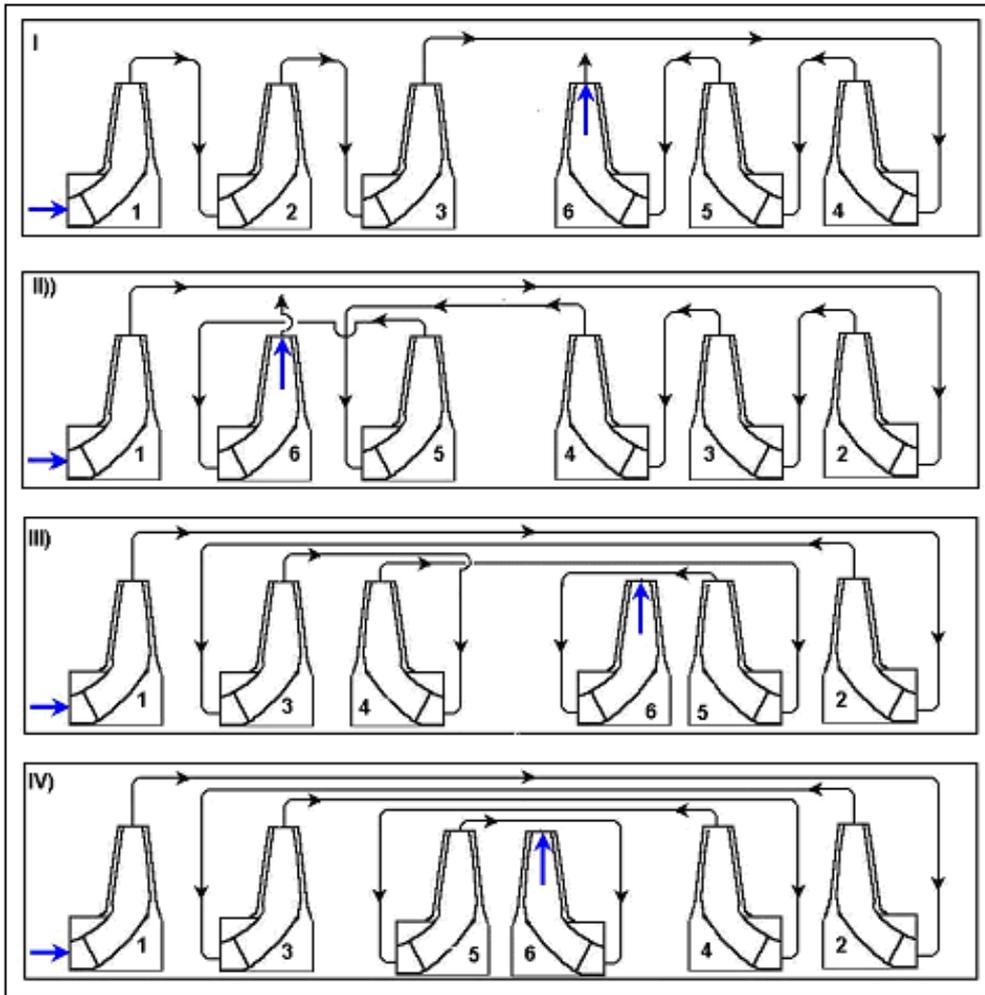


Figura 41 - Arranjos Balanceados para Bombas de Seis Estágios

1.9 Uso de dispositivos de balanceamento

Tambor de balanceamento (fig. 42); disco de balanceamento (figura 43);

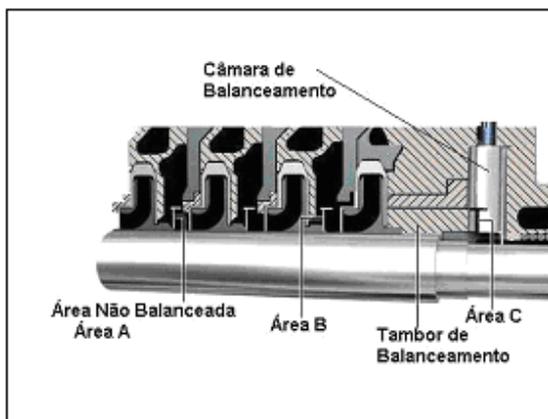


Figura 42 - Tambor de Balanceamento

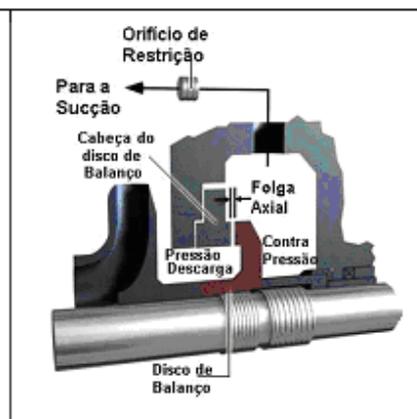


Figura 43 - Disco de Balanço

1.10 Acoplamento (Couplings)

As bombas centrífugas são conectadas aos seus acionadores através de acoplamentos exceto para "close-coupled units" onde o impelidor é montado na extensão do eixo do acionador.

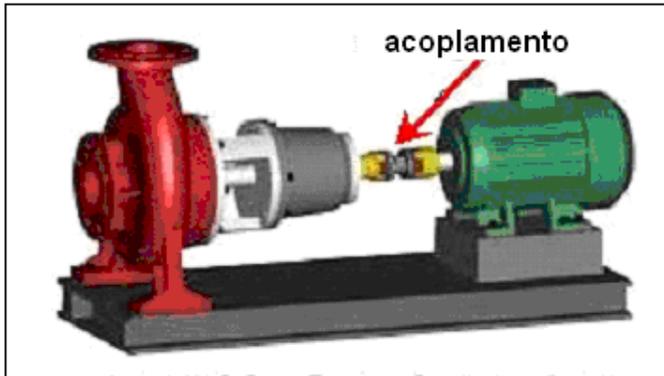


Figura 44 - Acoplamento

Os acoplamentos podem ser classificados em:

- Rígidos;
- Flexíveis.

Os acoplamentos que não permitem movimento relativo dos eixos quer axial quer radial são chamados acoplamentos rígidos. Já os acoplamentos do tipo flexível permitem um pequeno movimento relativo.

Contrariamente ao conceito popular os acoplamentos flexíveis não devem suportar erros de alinhamentos sendo qualquer desalinhamento indesejável não devendo ser tolerado permanentemente pois aumentam os esforços prejudicam os mancais conduzindo o equipamento a falhar.

1.11 Tipos de Acoplamentos Flexíveis

- A) Acoplamento com pinos amortecedores (*Pin and Buffer Couplings*).
- B) Acoplamento do tipo mandíbula (*Jaw ou Lovejoy*)
- C) Acoplamento com engrenagens (*Gear Type or Past Flexible Coupling*).
- D) Acoplamento do tipo *Falk* (em grade de aço)

Todos estes tipos constam essencialmente das seguintes partes:

- 1- Luvas que são normalmente enchavetadas no eixo;
- 2- Peça amortecedora;
- 3- Capa de proteção ou de retenção do lubrificante.

Passemos agora ao estudo de cada um dos tipos:

A) Acoplamento com pinos amortecedores (*Pin and Buffer Couplings*). Neste tipo uma das luvas possui vários furos, onde são colocados pinos revestidos de borracha ou outros materiais flexíveis, pinos estes que são presos à outra luva, e são responsáveis pela flexibilidade de acoplamento. Figura 45.



Figura 45 - Acoplamento com pinos amortecedores

B) Acoplamento do tipo mandíbula (*Jaw ou Lovejoy*). Este tipo é uma modificação do anterior possuindo as luvas ressaltos, estes ressaltos se encaixam e entre eles é colocada a peça amortecedora de borracha, conforme mostra a figura 46.

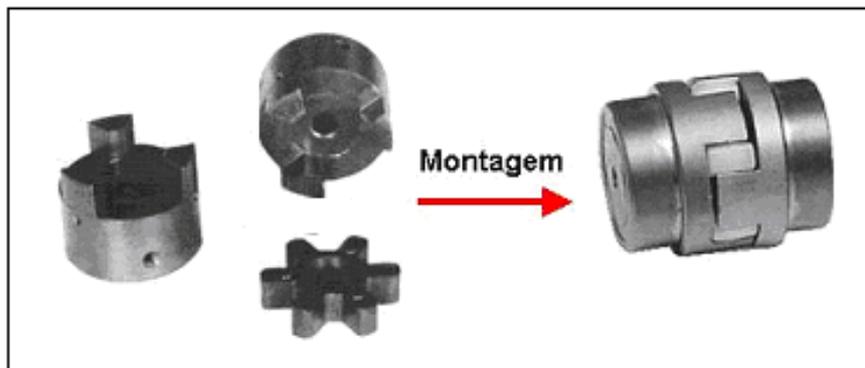


Figura 46 - Acoplamento tipo Mandíbula (Jaw ou Lovejoy)

C) Acoplamento com engrenagens (*Fast Flexible Coupling*). Este tipo possui engrenagens interna e externa, sendo o torque transmitido pelos dentes das engrenagens. Devemos notar Que este tipo necessita de lubrificação. Figura 47.

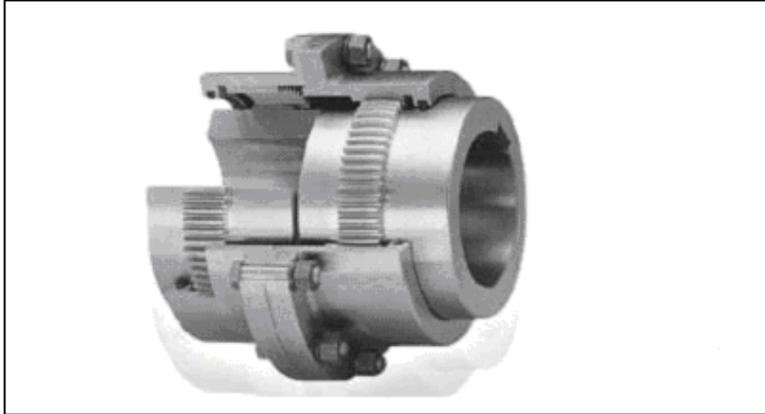


Figura 47 - Acoplamento de Engrenagem

D) Acoplamento tipo *Falk* (com grade de aço). No acoplamento do tipo Falk, que é o mais utilizado as luvas possuem ranhuras, e nestas ranhuras adapta-se uma mola ou grade de aço, que é a responsável pela ação amortecedora. Este tipo de acoplamento possui ainda Uma capa de retenção do lubrificante, que neste caso é normalmente graxa. Figura 48

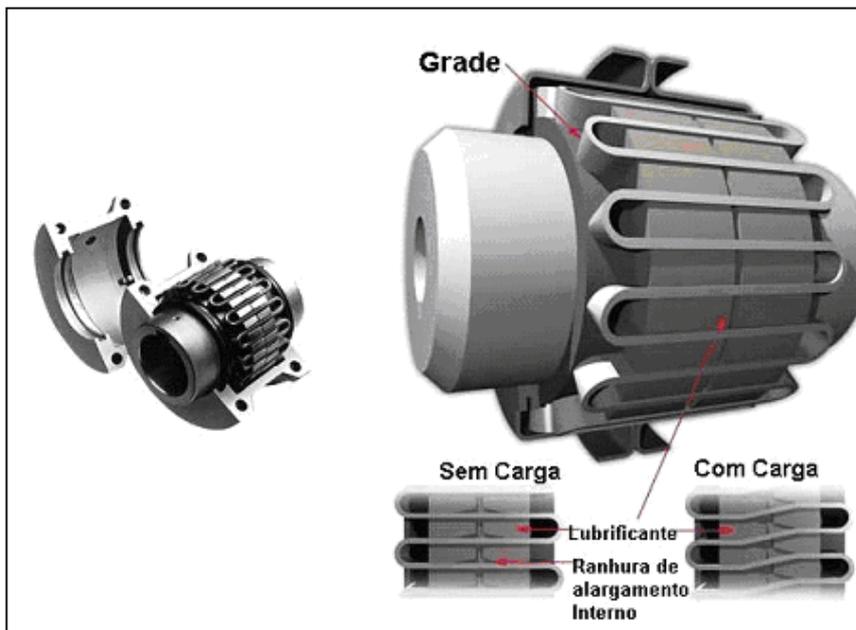


Figura 48 : Acoplamento tipo grade

2.0 Mancais

2.1 Introdução

São os apoios rotativos e posicionadores do conjunto eixo-rotor, podem ser do tipo de *rolamento* ou de *deslizamento*, dependendo do projeto. A função dos mancais é servir de apoio para o eixo e manter o eixo ou impelidor em correto alinhamento com as partes estacionárias. Todos os tipos de mancais têm sido usados em bombas centrífugas. O mesmo projeto básico de uma bomba é feito com 2 ou mais mancais diferentes, que são requeridos por variação de condições de serviço, ou preferência do comprador. Normalmente, utilizam-se 2 mancais, um para absorver o empuxo axial (mancal de escora) e um outro radial.

A sua lubrificação é a óleo ou a graxa, também em função do projeto. Existem mancais que se aquecem demasiadamente em funcionamento normal, e são construídos para funcionar com resfriamento, o que é feito, como no caso da câmara de vedação, pela circulação de água através de camisa de resfriamento, com controle também feito com a instalação de um termômetro no sistema.

O mais comum é o *mancal de rolamento* lubrificado a óleo ou graxa, (fig. 49).



Figura 49 - Rolamentos

Este mancal é construído de uma série de esferas montadas entre duas guias, uma interna e outra externa. A guia interna gira com o eixo e a externa é fixa na caixa do mancal.

O mancal é lubrificado por óleo que fica num depósito situado abaixo do mancal. Este óleo pode ser distribuído no rolamento, ou por uma bomba auxiliar ou por um anel de lubrificação.

O anel de lubrificação é de diâmetro maior do que o eixo, girando com o mesmo, mas em movimento lento e tem uma parte sempre mergulhada no óleo lubrificante. Desta forma o anel transporta o óleo do depósito ao rolamento. O lubrificante serve para reduzir o desgaste pela diminuição do atrito entre as partes em contato. Veremos mais sobre esse assunto em compressores e turbinas.

2.2 Circuitos Auxiliares

A) *Líquido de Selagem*: foi visto ao se tratar da Câmara de vedação.

B) *Resfriamento*: quando a bomba trabalha com líquido quente, para que a temperatura do equipamento não suba muito, é feito um *resfriamento*, do mancal e de outras partes por meio de camisas de resfriamento, que envolvem a parte em questão.

Nas *camisas de resfriamento* fig. 50, circula água tratada para a remoção do calor.

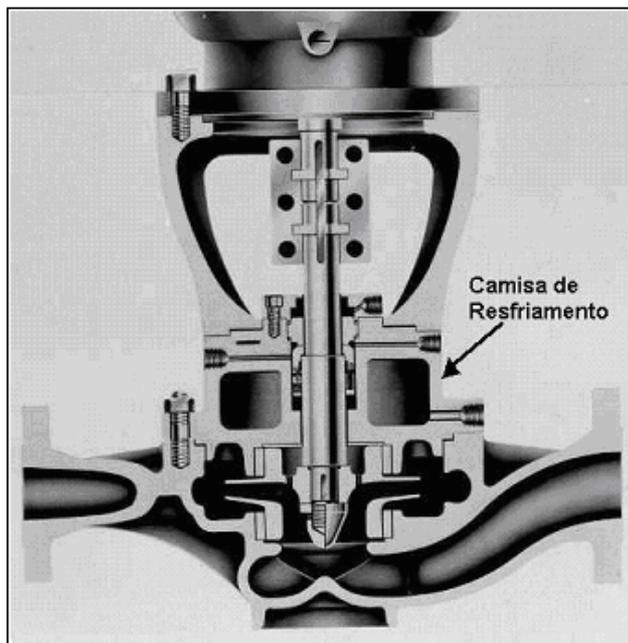


Figura 50 - Camisa de Resfriamento

Uma água não tratada pode acarretar depósitos e corrosão nas camisas de resfriamento.

C) *Sistema de Lubrificação*. Será visto separadamente na seção de lubrificação industrial.

2.3 Acionador e Base

Uma bomba centrífuga dá ao líquido que está sendo bombeado um aumento de pressão que é conseguido a custa de um fornecimento de energia.

Esta energia é suprida pelo *acionador* da bomba que pode ser um motor elétrico, uma turbina a vapor ou um motor a explosão.

Como a bomba e o acionador são montados em separado é necessário o emprego de uma ligação entre ambos.

O eixo da bomba é ligado ao eixo do acionador por um dispositivo chamado *acoplamento com proteção*, visto acima.

A bomba e seu acionador ficam montados sobre uma placa única que serve de base, dentro de uma barragem de contenção com drenagem para local apropriado.

O corpo da bomba fica apoiado na base por meio de um *pedestal*, fig. 51.

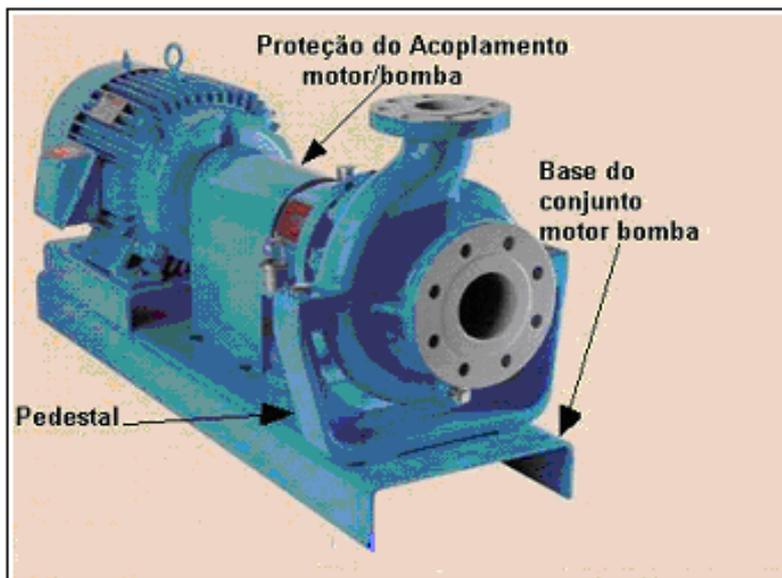


Figura 51 - Base do Conjunto Motor - Bomba

2.4 Estágios de Bombeamento

Como o rotor tem a sua capacidade limitada pelo seu diâmetro e pela sua velocidade, muitas vezes um único rotor não é capaz de dar ao líquido a pressão desejada.

Neste caso são empregados dois ou mais rotores, montados no mesmo eixo e ligados em série figura 52.

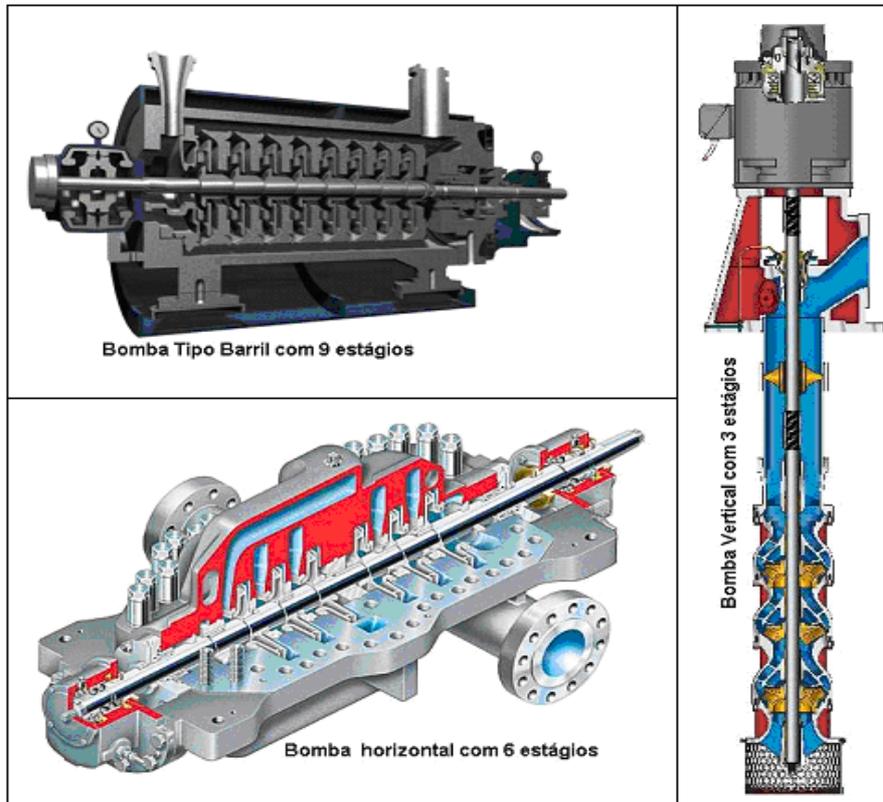


Figura 52 - Bombas de Multi- Estágios

O líquido depois de entrar no corpo da bomba passa sucessivamente por todos os rotores, ganhando maior pressão em cada um deles.

A elevação de pressão dada pela bomba ao líquido, e como se fosse feita em diversos degraus, constituindo cada rotor um degrau ou *estágio* desta elevação. Cada *rotor constitui um estágio da bomba* e o número de rotores determina o número de estágios da bomba.

O corpo de uma bomba centrífuga de vários estágios, e provido de dispositivos que levam o líquido descarregado, pela periferia de um rotor ao centro do rotor do estágio seguinte.

2.5 Operação

2.5.1 Partida

Uma bomba centrífuga deve sempre entrar em funcionamento com a tubulação de sucção e o corpo cheio com o líquido a ser bombeado. A presença de líquido no corpo da bomba e necessário, por um lado, pelo fato de servir como lubrificantes das partes com movimento e pequenas folgas, e por outro lado, porque a existência de gases ou vapores no seu corpo afetaria as condições de sucção, ocasionando o que se chama de perda de sucção.

Portanto, *"de forma alguma colocar em operação uma bomba centrífuga com ela vazia"*.

Quando a bomba estiver instalada em cota mais baixa que o reservatório de sucção pode ser cheia por gravidade abrindo a válvula de sucção e o seu suspiro. Em caso contrário, quando o reservatório de sucção estiver numa cota mais baixa que a bomba, deve-se usar o "dispositivo auxiliar de enchimento". A válvula de descarga e o dreno do corpo devem estar fechados antes do enchimento.

2.5.2 Medidas Preliminares

Antes da partida deve ser feita inspeção na bomba, no acionador, nos dispositivos auxiliares e locais de trabalho no tocante a limpeza, segurança pessoal e dos equipamentos, combate a incêndio, montagem correta, lubrificação, refrigeração, desimpedimento para entrada em operação e ausência de bolsas gasosas na linha de sucção.

2.5.3 Sistemas auxiliares

Por em funcionamento os sistemas de refrigeração e de líquido de selagem. Se a bomba trabalha com produtos quentes deve-se tomar o cuidado de aquecê-la antes da partida usando o sistema auxiliar para esta finalidade. Quando a bomba possuir dispositivo de recirculação deve-se verificar se a válvula da linha de recirculação está aberta. Esta linha de recirculação é um desvio que sai da tubulação de descarga, antes da válvula de descarga, e entra na linha de sucção depois da válvula de sucção.

2.5.4 Partida do acionador

Após estar tudo preparado e verificado é dada a partida no acionador.

2.5.5 Regulagem da Vazão

Após entrar em funcionamento, abrir lentamente a válvula de descarga para evitar bruscas variações de velocidade que podem ocasionar perda de sucção.

Quando a válvula de descarga não está fechada, e a válvula de retenção não está vedando bem, o líquido, antes da partida, pode passar da tubulação de descarga para a de sucção através da bomba fazendo-a girar em sentido contrário ao de funcionamento normal.

Ao dar a partida no acionador nestas condições, poderá haver danificação dos componentes das bombas (empenamento ou ruptura do eixo, esmagamento ou ruptura de chaveta de fixação do rotor ao eixo etc.).

Mesmo a energia exigida do acionador para uma partida nestas condições é muito maior daquela que seria necessária para uma partida normal, podendo então haverá danificação do acionador (queima do motor elétrico, ruptura do acoplamento, empenamento e torção do eixo etc.). Em alguns casos, quando não há linha de recirculação, para se evitar que o líquido circule por muito tempo dentro da bomba provocando sobreaquecimento, pode-se partir com a válvula de descarga ligeiramente aberta.

2.5.6 Sequências de Parada

- 1- Abrir válvula de recirculação;
- 2- Fechar válvula de descarga;
- 3- Parar acionador;
- 4- Abrir válvula de aquecimento, caso seja necessário manter a bomba quente;
- 5- Fechar sistemas de refrigeração e selagem;
- 6- Fechar válvula de sucção e abrir drenos ou suspiros para aliviar a pressão da bomba quando necessário.
- 7- Finalmente fechar o sistema de líquido de selagem

2.6 Cuidados Operacionais

Durante a operação de uma bomba centrífuga devem-se tomar vários cuidados para melhor rendimento do equipamento e maior segurança operacional, tais como:

- a) Verificar pressões de sucção e descarga;
- b) Verificar acionador (ruídos, consumo, rotação, temperaturas, lubrificação, etc.).
- c) Verificar caixa de vedação (vazamentos, aquecimentos). Nunca dar partida uma bomba com sobreposta frouxa ou afrouxá-la com a bomba em funcionamento. O aperto de ajustagem das gaxetas pela sobreposta deve ser feito lentamente com a bomba em funcionamento para se conseguir boa vedação. Este trabalho, no entanto é de atribuição do pessoal de manutenção (mecânicos) e só deve ser realizado por eles. Selo Mecânico não deve apresentar vazamento algum, nem aquecimento excessivo.
- d) Verificar as caixas de mancal (lubrificação, ruído, aquecimento).
- e) Verificar sistema de resfriamento (escoamento normal, contaminação, temperatura).
- f) Verificar sistema de líquido de selagem (escoamento, temperatura, contaminação ou alteração do líquido).

g) Verificar filtros de sucção quanto a excesso de sujeira, evidenciando pela perda de pressão lida nos manômetros instalados antes e depois do filtro.

h) A bomba deve ser parada caso seja constatada alguma anormalidade como aquecimento anormal dos mancais, aquecimento anormal da câmara de vedação, vazamento do selo mecânico, vibração ou ruído anormal. Se a pressão de descarga cair à zero, a bomba deve ser parada imediatamente. Ventilada, cheia, e colocada novamente em funcionamento.

i) Nunca se deve regular a vazão de uma bomba pela válvula de sucção. O estrangulamento desta válvula pode acarretar perda de sucção, devendo a mesma permanecer totalmente aberta durante o funcionamento da bomba. A regulagem de vazão deve ser feita sempre pela válvula de descarga. E a seguir as Instruções Operacionais:

2.6.1 Limpeza

O equipamento (bomba e acionador) e seus arredores devem estar sempre limpos e livres de ferramentas, parafusos, porcas, calços, estopa e materiais não em uso.

2.6.2 Segurança

Observar as boas condições de proteção do acoplamento, equipamentos de combate a incêndio e dispositivos de segurança pessoal (óculos, luvas etc.).

2.6.3 Instalação

Verificar bomba, acionador, alinhamentos da sucção e descarga, posição correta das válvulas, drenos e suspiros, linhas de resfriamento e selagem, acoplamento, sistema de controle e instrumentação.

2.6.4 Lubrificação

Verificar mancais da bomba e do acionador, sistema de lubrificação e resfriamento, vazamentos, níveis de óleo, temperaturas, pureza do óleo etc. Nunca substituir óleo de um mancal em funcionamento.

2.6.5 Vedação

Verificar se o vazamento através do engaxetamento não está deficiente ou excessivo. Observar temperatura da câmara de vedação, lembrar que nunca se deve acionar uma bomba com sobreposta frouxa ou afrouxá-la com a bomba em operação, pois pode haver um vazamento violento de líquido com perigo de acidentes como incêndio, queimaduras etc., dependendo do tipo de líquido que está sendo bombeado. Verificar se não há vazamento e sobreaquecimento do selo mecânico.

2.6.6 Recomendações

- a) Manter as bombas e acionadores reservas em condições de entrar em operação a qualquer momento.
- b) Limpar frequentemente as bases e fundações sujeitas a ação de produtos corrosivos e inflamáveis.
- c) Manter desobstruídos os drenos da base, caixas de mancais e vedação. Não esquecer que ajuste de sobreposta, reparos em engaxetamentos e selos mecânicos são de atribuição apenas do pessoal de manutenção.
- d) Sempre que for constatada uma anormalidade deve ser solicitada a presença da manutenção.

2.8 Principais problemas operacionais de uma bomba centrífuga

2.7.1 Erosão

O choque contínuo de partículas sólidas sobre a superfície metálica da carcaça ou do rotor da bomba retirando pequenas partículas tem como resultado a erosão (no caso de líquido com lama, areia, etc.). Portanto é um fenômeno físico. A erosão pode provocar corrosão devido ao empobrecimento do material do local afetado.

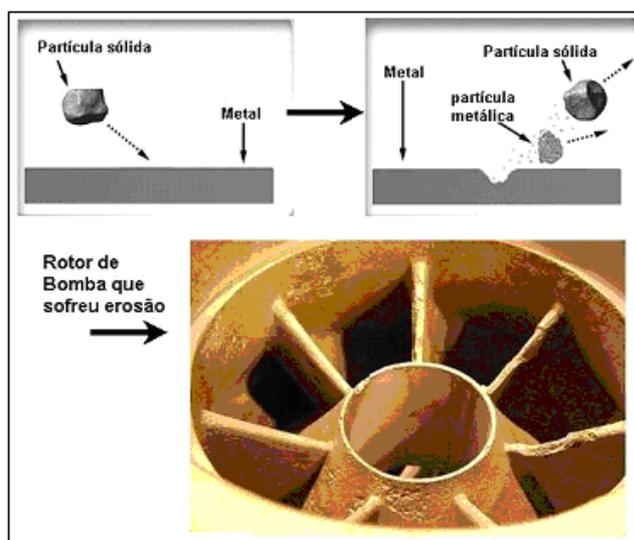


Figura 53 - Erosão

Desgaste por abrasão dos Anéis de Vedação, Bucha, Engaxetamentos e Mancais.

Além da erosão, algumas peças das bombas podem sofrer cavitação, corrosão que veremos logo a seguir.

O desgaste pode ocorrer por abrasão ou fricção (atrimento) é essencialmente um mecanismo físico onde as superfícies forçam uma contra a outra onde partículas de material mais mole são removidas por partículas duras, afiadas, ou por outras superfícies afiadas duras que riscam o material.

Este fenômeno pode acentuar por falta de lubrificação (mancais de rolamento, gaxetas, etc.) ou folgas muito justas (anéis de desgaste, etc.). Assim como no caso anterior este fenômeno também pode provocar corrosão devido ao empobrecimento do material.

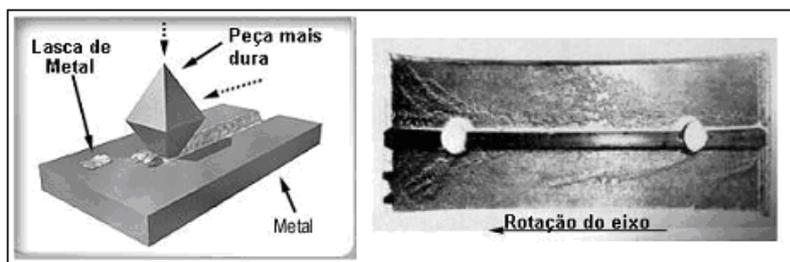


Figura 54 - Abrasão ou atrito

2.7.3 Corrosão

Efeitos químicos podem resultar nas mudanças do perfil da superfície metálica seja por empobrecimento, seja por contato entre materiais de características diferentes, seja por ação de um eletrólito (básico, ácido ou salino), por depósitos de sólidos, ou outro tipo de ação.

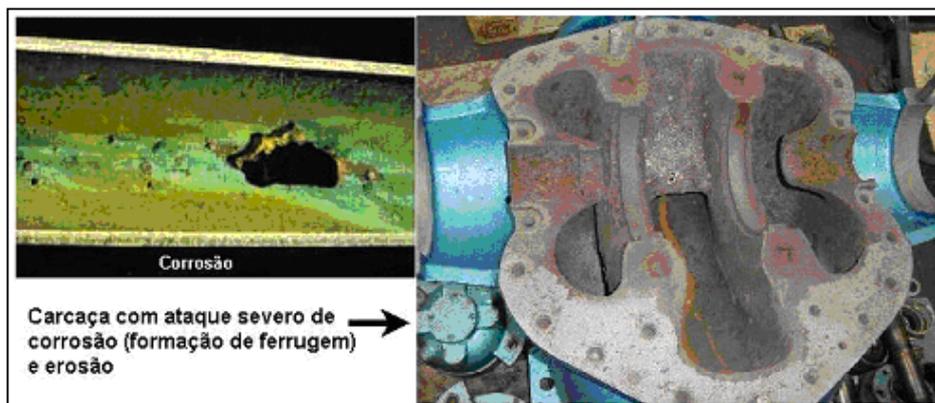


Figura 55 - Corrosão

2.7.4 Cavitação

É um fenômeno físico-químico que pode ocorrer em mancais, rotores de bombas, hélices de navios e agitadores. Antes de explicar o fenômeno de cavitação, vamos recordar o que significa vaporização: é a passagem do estado líquido para o gasoso, esse fenômeno pode ocorrer pelo aumento da temperatura ou abaixamento da pressão ou ambos.

A cavitação é um fenômeno muito estudado, o processo começa quando a pressão sobre o líquido bombeado diminui a um ponto baixo o bastante para que o líquido mude de estado físico (gasoso). Por exemplo quando a água vaporiza seu volume aumenta cerca de 1.700 vezes. Figura 56.

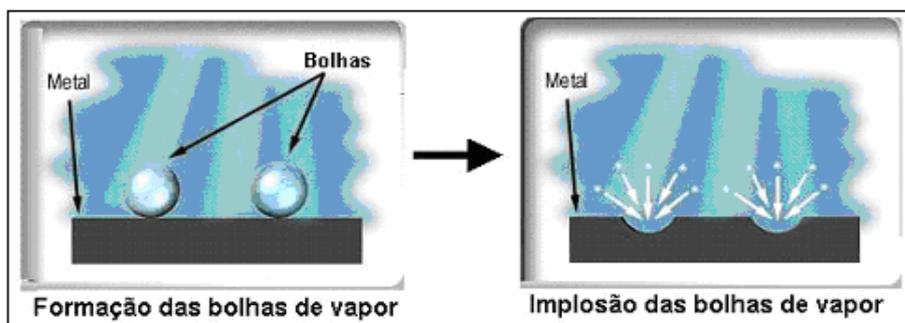


Figura 56 - Formação e Implosão das bolhas de vapor

As áreas onde a cavitação nas bombas, se dá principalmente imediatamente antes da sucção e no olho do impelidor. As bolhas de gases formadas sofrem colapso quando há o aumento da pressão devido à rotação do rotor.

As bolhas implodem devido ao aumento de pressão, no caso da água há uma redução do volume de cerca de 1700 vezes, essa implosão extremamente violenta cria uma pressão acima de 1500 kgf/cm², dentro da bolha, que cria então uma onda de choque e a luz pode ser emitida (de acordo com fotografias tiradas em laboratório). Esta onda de choque é o ruído que ouvimos semelhante um chiado como se a bomba tivesse bombeando areia com água, é o que chamamos de cavitação.

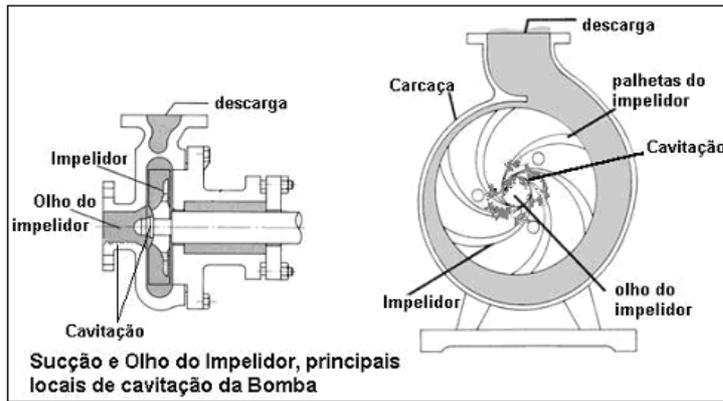


Figura 57 - Locais Principais de Cavitação na Bomba

53

A cavitação provoca:

- a) Perda da capacidade da bomba (vazão e head);
- b) Perda de eficiência;
- c) Danos aos componentes da bomba retiradas de partículas metálicas (Pitting) (rotor; sucção, etc.)
- d) Ruído
- e) Vibrações.

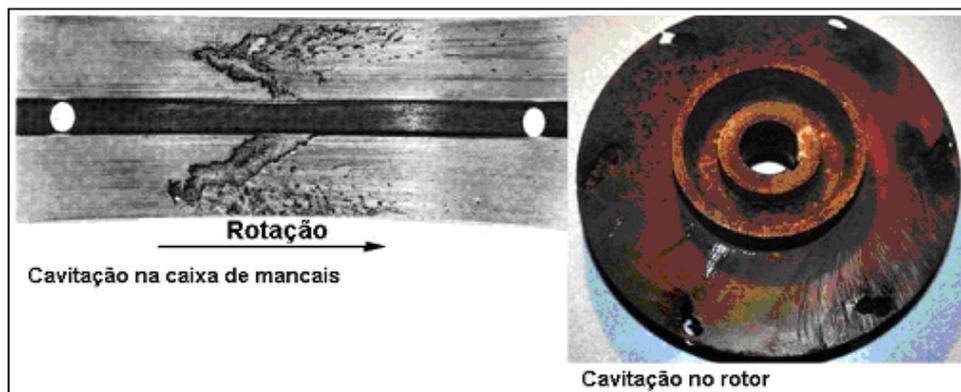


Figura 58 - Cavitação

2.7.5 NPSH Requerido

No bombeamento de líquidos, a pressão em qualquer ponto nunca deve ser reduzida abaixo da pressão de vapor, pois se isto acontecer estaremos correndo o risco da cavitação com os seus graves inconvenientes.

Como a entrada do impelidor é o ponto onde se registra a menor pressão, é uma preocupação constante evitar que a pressão neste ponto seja reduzida à pressão de vapor. Assim sendo, os fabricantes definem em função da vazão qual o valor da energia que deve existir no flange de sucção da bomba, para que na entrada do impelidor a pressão esteja ainda superior a da vaporização e o fenômeno de cavitação seja evitado. A este valor deu-

se o nome de $NPSH_{REQUERIDO}$, e é fornecido modernamente através da curva $NPSH_{req}$ x Vazão. Sabemos que uma certa quantidade de energia ($NPSH_{REQUERIDO}$) deve existir no flange de sucção para evitar a cavitação

2.7.6 NPSH Disponível

Então, o nosso problema é calcular qual a energia disponível ($NPSH_{DISPONÍVEL}$) no flange de sucção do nosso sistema acima da pressão de vapor e verificar se é maior que o $NPSH_{REQUERIDO}$ que é dado pelo fabricante.

No caso de seleção de bombas, calculado o $NPSH_{DISPONÍVEL}$ escolhemos uma bomba com $NPSH_{REQUERIDO}$ para a vazão de operação menor que o $NPSH_{DISPONÍVEL}$ calculado.

Resumindo, podemos afirmar que a condição que deve ser sempre satisfeita é:

$$NPSH_{DISPONÍVEL} > NPSH_{REQUERIDO}$$

É prática corrente fazer com que:

$$NPSH_{DISPONÍVEL} \geq NPSH_{REQUERIDO} + 0,5 \text{ m}$$

1.1.1.1 Cálculo do $NPSH_{DISPONÍVEL}$

O $NPSH_{DISPONÍVEL}$ pode ser calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$NPSH_{disp} = \frac{P_a - P_v}{\gamma} \pm S - \Delta P_s$$

Onde:

P_a = Pressão absoluta do recipiente alimentador da bomba

P_v = Pressão de vapor do líquido

S = Altura estática da sucção

(+) se o nível do líquido estiver acima da linha de centro da bomba

(-) se o nível do líquido estiver abaixo da linha de centro da bomba

ΔP_s = Somatório das perdas de carga da sucção

γ = Peso específico do líquido

Para o cálculo do NPSH disponível é conveniente analisar os seguintes fatores:

- Altura Estática de sucção;

- Altitude do local da instalação
- Temperatura do líquido
- Peso específico do líquido
- Diâmetro, comprimento e acessórios da linha de sucção para determinar a perda de carga da sucção.

2.9 Associação de bombas centrífugas

As bombas podem ser instaladas em paralelo ou em série.

2.8.1 Em paralelo

Elas são instaladas em paralelo quando se quer maiores vazões. A curva que se apresenta é exemplificava. Fig. 59

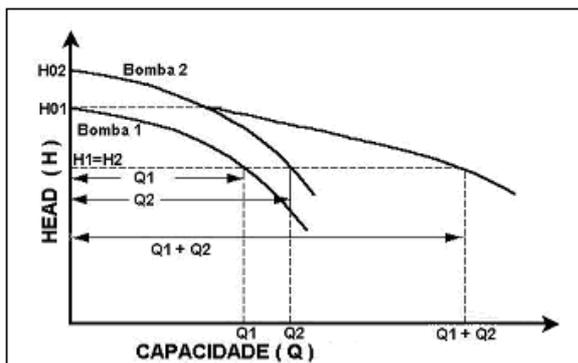


Figura 59 - Associação de Bombas em paralelo

2.8.2 Em série

Elas são instaladas em série quando se quer maior "HEADS" ou pressões de descarga. A curva que se apresenta é exemplificava. Fig. 60.

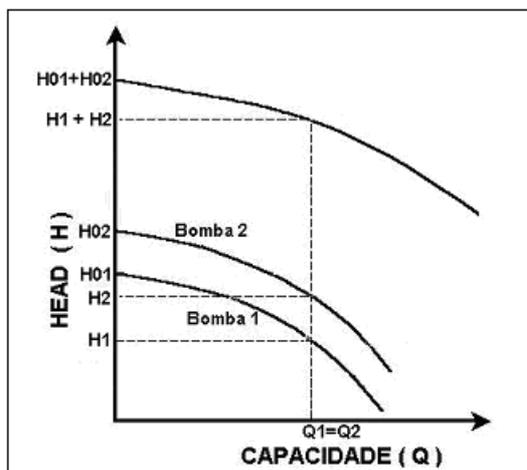


Figura 60 - Associação de Bombas em Série

2.9 Dificuldade de Operação de uma Bomba Centrífuga

2.9.1 A bomba não bombeia o líquido

- A bomba não está escorvada;
- A velocidade (rotação) é insuficiente. Se movida à motor verificar a tensão (V) ou corrente (I) em cada fase;
- A pressão de descarga do sistema é maior do que aquela para a qual a bomba foi projetada;
- O **NPSH**_{disponível} é insuficiente.

2.9.2 Vazão insuficiente

- Entrada de ar na linha de sucção;
- A velocidade baixa. Se movida à motor verificar a tensão (V) ou corrente (I) em cada fase;
- A pressão de descarga do sistema é maior do que aquela para qual a bomba foi projetada
- Rotor parcialmente obstruído;
- Pressão de sucção insuficiente (ocasionalmente com cavitação);
- Defeitos mecânicos - anéis de desgaste excessivamente gastos ou rotor danificado;
- Válvula de pé (chamada cebola) mal dimensionada, muito pequena, obstruída ou presa;
- Sucção levantada sem necessária submersão ou acima do nível de líquido.

2.9.3 Pressão insuficiente

- Entrada de ar na linha de sucção;
- Ar ou vapor na linha de sucção;
- Defeitos mecânicos - anéis de desgaste excessivamente gastos ou rotor danificado;

2.9.4 Bomba perde sucção após partida

- Entrada de ar na linha de sucção;
- Ar ou vapor na linha de sucção;
- Sucção levantada sem necessária submersão ou acima do nível de líquido
- Entrada de ar pelas gaxetas.

2.9.5 Bomba sobrecarregando o motor

- Velocidade alta demais;
- Altura manométrica do total sistema muito baixa acarretando bombeamento de líquido demais
- A viscosidade ou densidade diferentes para a qual a bomba foi projetada;

- Defeitos mecânicos - anéis de desgaste excessivamente gastos ou rotor danificado;

2.9.6 Bomba vibra

- Desalinhamento do conjunto bomba motor
- Falta de rigidez na fundação;
- Rotor parcialmente obstruído causando desequilíbrio
- Defeitos mecânicos - eixo empenado da bomba; elementos rotativos da bomba com pouca folga encostando-se à carcaça; anéis de desgaste encostando;
- Bomba seca;
- Cavitando.

3.0 Bombas Volumétricas ou Deslocamento Positivo

3.1 Introdução

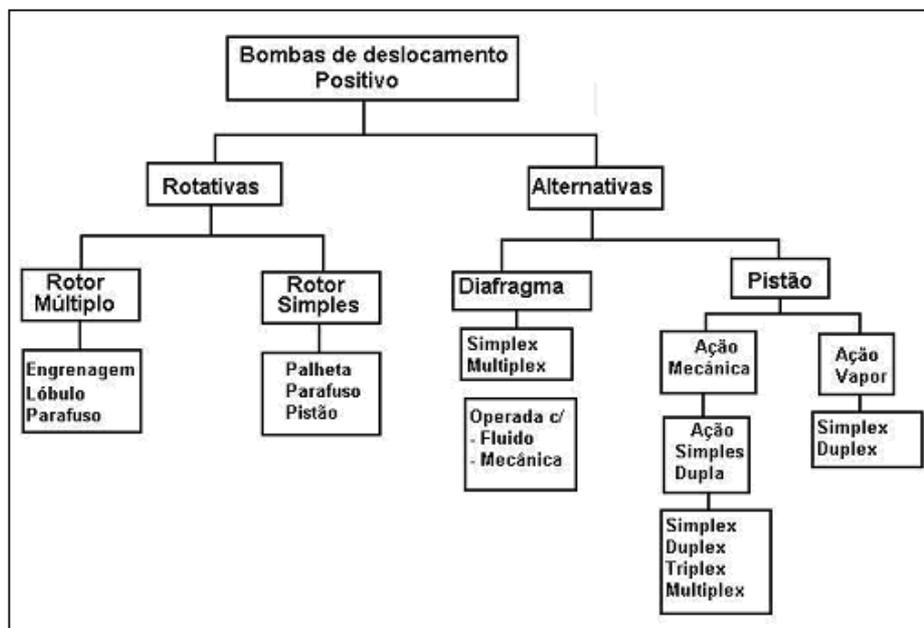
São aquelas em que a movimentação do líquido é diretamente causada por peças da bomba que obriga o líquido a executar sempre o mesmo movimento.

O líquido sucessivamente enche e depois é expulso de espaços com volume determinado no interior da bomba, daí o nome bombas volumétricas.

Nesse tipo de bomba a peça ou peças móveis, transmite forças ao líquido que têm a mesma direção do movimento geral do líquido e o acompanham desde a sucção até a descarga. Destacando:

A- Rotativas: palhetas; parafuso; lóbulos; engrenagens; helicoidal;

B- Bombas alternativas: êmbolo; diafragma.



3.2 Bombas Rotativas

São aquelas em que o elemento móvel, no seu movimento de rotação dentro da carcaça da bomba, cria uma cavidade que capta o líquido na sucção e o conduz até a descarga.

Bombas rotativas, conforme definido anteriormente, são aquelas que possuem uma parte móvel girando dentro da carcaça, que pelo seu movimento de rotação cria uma cavidade que capta o líquido na região de sucção e o conduz até a região de descarga.

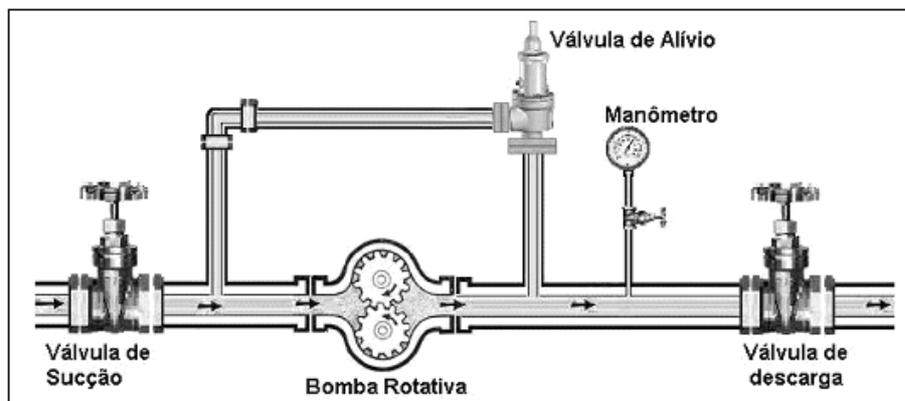


Figura 61 - Esquema de Instalação de Bomba Rotativa

Nestas bombas, pela sua característica de funcionamento, cada giro completo de seu elemento móvel transporta sempre o mesmo volume de líquido praticamente independente da pressão contra a qual está sendo bombeado.

Então, estas bombas, trabalhando a uma rotação constante, bombeiam praticamente a mesma vazão independentemente da pressão da descarga, logicamente dentro de uma certa faixa de pressão.

Na verdade, a medida que aumenta a pressão na descarga tem-se um maior vazamento de líquido para a sucção através das folgas existentes internamente, o que faz diminuir um pouco a vazão com o aumento da pressão, para uma mesma rotação.

Nas bombas rotativas não existe comunicação livre entre a sucção e a descarga como acontece nas bombas centrífugas.

Uma bomba rotativa parada não permite a passagem do líquido da descarga para a sucção, e vice-versa, senão pelas folgas existentes; numa bomba centrífuga parada, a passagem de líquido se faz livremente através do rotor. Por esta característica as bombas rotativas são chamadas de "*bombas de deslocamento positivo*".

As bombas rotativas têm vazão praticamente contínua e são empregadas para operação com produtos viscosos. Com a válvula de descarga fechada tem comportamento totalmente diferente das bombas centrífugas.

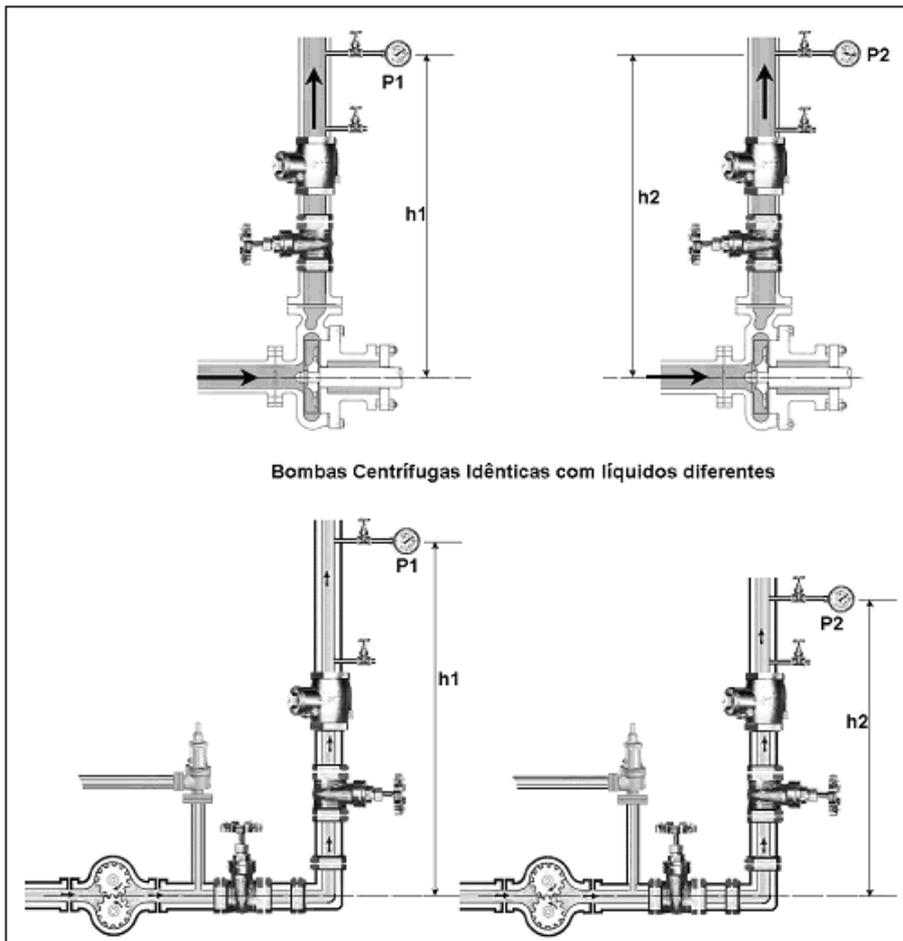


Figura 62 - Esquema Comparativo de Instalações – Bombas Idênticas e Líquidos Diferentes

As bombas centrífugas, em funcionamento com a válvula de descarga fechada, mantêm uma circulação do líquido dentro da sua carcaça e a pressão na descarga não vai além de um valor baixo, correspondente a "centrifugação" do líquido contido na carcaça.

As bombas rotativas, funcionando com a válvula de descarga fechada, elevam a pressão a um vapor bastante alto cujo limite vai depender das folgas internas.

Dependendo do tipo de instalação com bomba rotativa há necessidade de um sistema de proteção contra sobre pressão.

No caso de uma falha operacional, humana ou de equipamento, em que a descarga é bloqueada causando um aumento de pressão excessiva é perigoso à instalação, este sistema de proteção entra em ação. Ele é composto simplesmente de uma linha que interliga a descarga a sucção através de uma válvula de alívio de pressão. Esta válvula é calibrada para uma determinada pressão que quando atingida provoca sua abertura. Veja ilustração do sistema de proteção na figura 61.

As bombas rotativas, pelo fato de serem bombas de deslocamento positivo, não precisam necessariamente ter a carcaça e a linha de sucção cheia com o líquido a ser bombeado para iniciar a operação. Elas têm a capacidade de expelir os gases ou vapores contidos na carcaça e sucção.

O líquido é succionado pelo vácuo parcial criado diretamente pelo movimento de suas partes internas.

Nas bombas centrífugas o vácuo parcial que succiona o líquido para dentro da carcaça e criado pelo próprio líquido contido nela ao ser expelido para a descarga da bomba por ação da força centrífuga.

Deste modo, se não houver líquido dentro da carcaça, o rotor expelirá apenas gases ou vapores, que não produzirão vácuo suficiente para succionar o líquido do reservatório alimentador, causando o fenômeno de "perda de sucção".

Um outro ponto importante a salientar para as bombas rotativas e centrífugas e que as rotativas dão "pressão" ao líquido na sua descarga, enquanto que as centrífugas dão "velocidade".

Considerando então dois líquidos 1 e 2 de densidades diferentes, sendo bombeadas por duas bombas rotativas idênticas, teremos a mesma "pressão" nas descargas e conseqüentemente "altura de coluna líquida" diferentes devido a diferença entre as densidades.

Se considerarmos estes mesmos líquidos sendo bombeados por duas bombas centrífugas idênticas, teremos mesma "altura de coluna líquida" e conseqüentemente "pressões" diferentes nas descargas das duas bombas.

Para ilustrar as afirmações deste último parágrafo, veja e analise a figura 62, temos:

Para as bombas centrífugas: pressões de sucção iguais, $P_1 \neq P_2$ e $h_1 = h_2$

Para as rotativas: pressões de sucção iguais, $P_1 = P_2$ e $h_1 \neq h_2$

3.4 Tipos

Existem quatro tipos principais de bombas rotativas, todas elas funcionando com o mesmo princípio, que é captar o líquido na sucção encerrando-o dentro de uma cavidade que transporta até a descarga.

3.4 Bomba Rotativa de Palhetas

A bomba de palhetas veja nas figuras 63 e 64, são usadas com sucesso em uma variedade muito grande de aplicações.

Divido à força da palheta e da ausência do contato metal-metal, essas bombas são utilizadas idealmente para os líquidos, tais como GLP, a amônia, os solventes, o álcool, os óleos de combustível, a gasolina e líquidos refrigerantes, baixa viscosidade, não lubrificantes até 2.200 SSU. A pressão de operação deste tipo de bomba chega a alcançar em torno de 140 kgf/cm².

As bombas rotativas do tipo palheta deslizante têm geralmente interior elíptico com ranhuras radiais dentro das quais são montadas as palhetas montadas sobre um sistema de molas.

Enquanto o rotor gira, a força centrífuga faz com que a borda exterior de cada palheta deslize e se aproxime da superfície da carcaça.

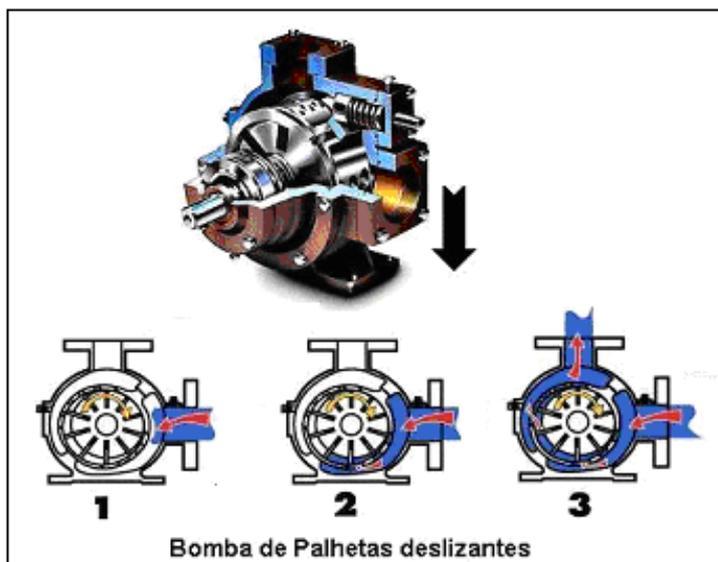


Figura 63 - Bomba de Palhetas

As bombas de palhetas estão disponíveis em um número variado de configurações das palhetas incluindo, o deslizamento da palheta (à esquerda), da aleta flexível à direita, da aleta que balança, da aleta rolando, e da aleta externa, etc.

Princípio de funcionamento das bombas de palhetas deslizantes:

As bombas de palheta trabalham apesar das configurações diferentes, a maioria operam-se sob o mesmo princípio geral descrito abaixo.

- 1) O líquido é succionado, o rotor é composto normalmente de seis ou oito palhetas no interior de uma carcaça elíptica. Pela ação da força centrífuga, devido a rotação da bomba, as palhetas deslizam até a carcaça selando o líquido em cada compartimento.
- 2) À medida que o rotor vai girando há um aumento da câmara devido a excentricidade da carcaça.
- 3) Enquanto o rotor continua ao redor, há uma diminuição da câmara de selagem até a descarga, e pela ação das molas há retraimento das palhetas para a posição inicial.

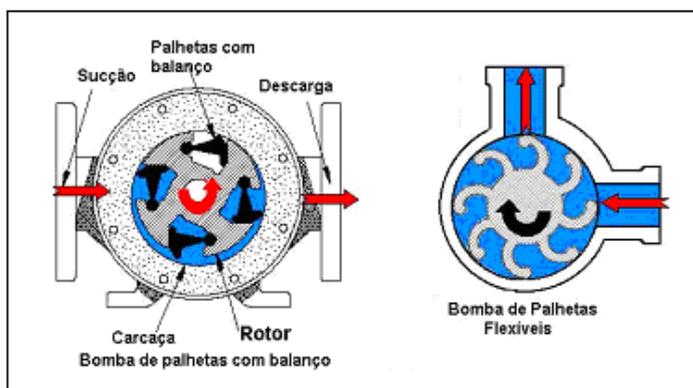


Figura 64 - Outros modelos de Bomba de Palhetas

3.4.2 Vantagens

- Auto escorvante;
- Boa condição de sucção (vácuo);
- Pressões e velocidades médias;
- Operam com solventes e líquidos finos; GLP
- Podem operar a seco por períodos curtos;

3.4.3 Desvantagens

- Carcaça é de construção complexa;
- Não permite trabalhar com líquidos contendo sólidos;
- Não é disponível para altas pressões;
- Não é disponível para altas viscosidades;

3.4.4 Aplicações

No serviço da aviação das aplicações Aerosol / Propelentes; transferência de combustível;

Manutenção e Instalação de Bombas Hidrodinâmicas

lubrificantes; GLP; amônia; solventes, etc.

3.5 Bomba Rotativa de Engrenagem

As bombas de engrenagem bombeiam com sucesso viscosidades acima de 1.320.000 cST (6.000.000 SSU) e líquidos baixa viscosidade, tais como o propano e a amônia líquidos.

Descarregam o mesmo volume apesar das condições variação da pressão. Além às potencialidades de manipulação de líquidos de alta viscosidade, as bombas de engrenagem oferecem um fluxo contínuo e não pulsante.

As bombas de engrenagem são auto escorvante e podem funcionar secos.

As bombas de engrenagem têm somente duas partes que se movem, e por isso é de muita confiança, simples operar-se, e fácil de manter.

Pode operar-se em um ou outro sentido que permite a utilidade máxima com uma variedade de exigências da aplicação. Apresentam vários modelos:

3.6. Bombas de engrenagens internas

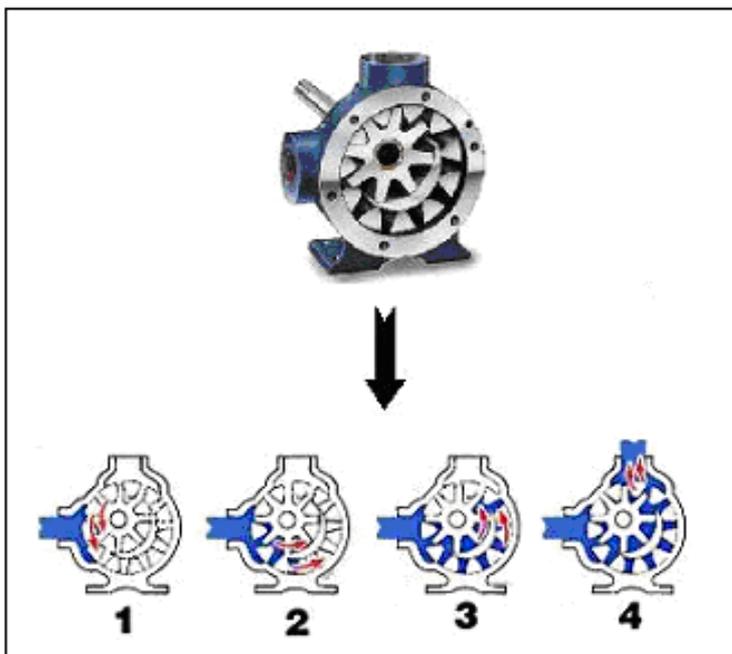


Figura 65 - Bomba Rotativa de Engrenagem Interna

Apresenta a vista geral interna da bomba de engrenagem para líquidos de uma larga escala de viscosidades e velocidades relativamente baixas. (Figura 65).

3.6.1 Como operam

- 1) O líquido entra na sucção entre o rotor (engrenagem exterior grande) e (uns dentes mais inativos da engrenagem interior pequena). As setas indicam o sentido da bomba e do líquido.
- 2) O líquido viaja através da bomba entre os dentes do princípio da "engrenagem dentro de uma engrenagem". A forma de meia lua divide o líquido e age como um selo entre a sucção e a descarga (evitar o retorno de líquido).
- 3) A sucção da bomba é inundada e o líquido é forçado até a descarga.
- 4) Os dentes do rotor e do tensor engrenam completamente para formar um selo, que força o líquido a sair pela descarga.

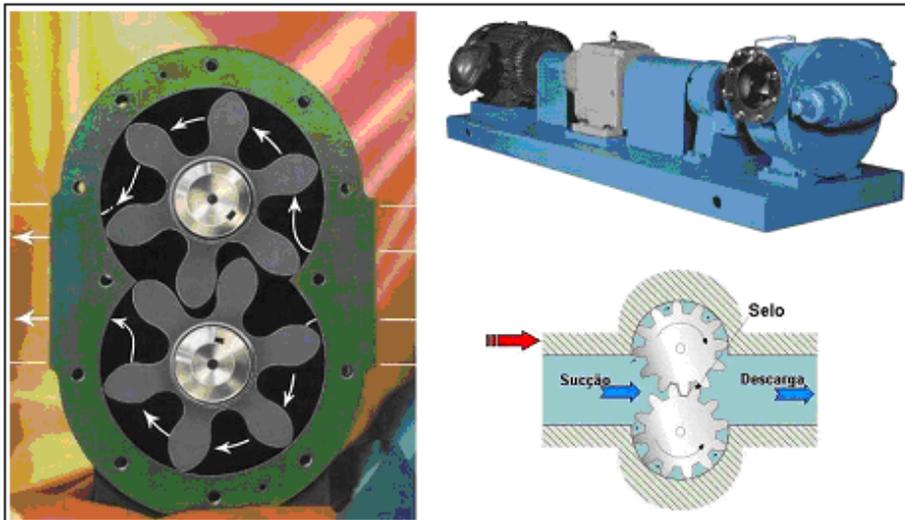


Figura 66 - Bombas de Engrenagens Externas

3.7 Bomba de Engrenagem externa:

Apresenta um esquema de bomba de engrenagem interna. As bombas de engrenagem externas giram duas engrenagens idênticas que giram uma no sentido horário e a outra no sentido anti-horário.

O líquido é transportado pelas cavidades formadas entre os dentes das engrenagens e a superfície interna da carcaça. (Figura 66)

3.7.1 Vantagens das Bombas de Engrenagem

- Apresentam apenas duas partes móveis;
- Sucção positiva e descarga não pulsante;
- Ideal para líquidos de alta viscosidade;
- Baixo custo de manutenção;
- Fluxo constante mesmo com variações das condições de descarga;
- Opera bem tanto num sentido como em sentido contrário;
- Pode operar num sentido do fluxo com rotação diferente;
- $NPSH_{requerido}$ é baixo;

3.7.2 Desvantagens

- Requerem velocidades moderadas;
- Pressões de operação limitada;
- Sobrecarga no rolamento do eixo;

3.7.3 Aplicações

Carga e descarga de tanques e navios em terminais marítimos; indústria química e petroquímica dosagem de produtos; lubrificação de sistemas; sistemas pneumáticos, etc.

3.8 Bomba Rotativa de Parafusos

Esse tipo de bomba pode manusear líquidos numa larga escala de viscosidade desde gasolina até graxas.

A escala de pressão de operação vai desde $3,5 \text{ kgf/cm}^2$ até 350 kgf/cm^2 e fluxos até $1100 \text{ m}^3/\text{h}$. Podem ser acopladas a motores elétricos e turbinas, podendo girar até mais de 10.000rpm .

3.8.1 Vantagens

- Larga escala de fluxo e pressão de operação;
- Larga escala de líquidos e viscosidades;
- Podem rodar a altas velocidades;
- Auto escorva com boas condições de sucção (vácuo);
- Podem operar sem problemas na presença de ar ou gases;
- Baixa vibração mecânica;
- Facilidade de instalação e manutenção;
- Alta tolerância à contaminação em comparação com outras bombas rotativas;

3.8.2 Desvantagens

- Custo relativamente alto;
- As características de desempenho são sensíveis às mudanças de viscosidade;
- Para altas pressões há um aumento considerável nas dimensões da bomba.

Este tipo de bomba engloba algumas variantes:

3.9 Com um só parafuso

Consta de um parafuso helicoidal rosca simples (rotor) que gira excentricamente e sem folga em um fuso helicoidal de rosca dupla (estator), figura 67.

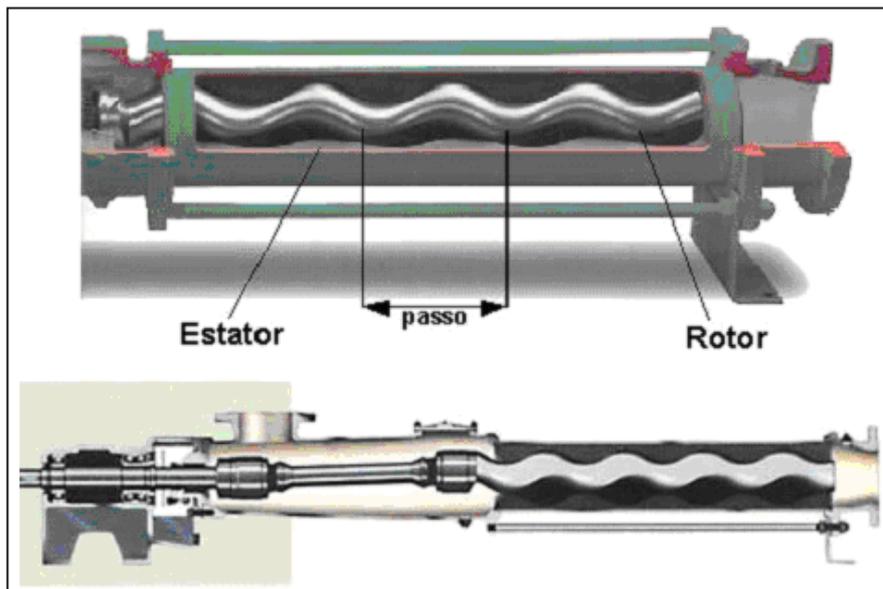


Figura 67 - Bomba de Parafuso único helicoidal

O rotor é metálico (AIS1-316) revestido de cromo e o estator é um elastômero (borracha SN-Cloro butílica). A dureza da borracha depende do tipo de líquido bombeado.

Na sua rotação o rotor forma, em conjunto com o estator, uma série de cavidades vedadas distante de 180° entre elas.

Quando o rotor entra em giro, as cavidades progridem e deslocam-se do lado da sucção estator para o de descarga.

Durante o giro do rotor uma cavidade diminui de volume enquanto a cavidade oposta aumenta exatamente na mesma taxa.

Desta maneira, a soma das duas descargas forma um volume constante de bombeamento dispensando o uso de válvulas internas.

O volume de bombeamento de um rotor é diretamente proporcional a sua rotação; passo; excentricidade e diâmetro do rotor.

A bomba de parafuso simples é chamada geralmente de bomba de cavidade progressiva.

Usos:

Bombeamento de pasta de papel; pasta de pão; massas; lamas; graxas; glicose; viscoses; alimentos (maionese; catsup; mostarda; massa de tomate; margarinas; manteiga); óleos vegetais e animais.

3.10 Com dois parafusos

É formada por dois parafusos tipo rosca sem fim casados, que giram em sentidos contrários, com folgas convenientes, dentro de uma cavidade da carcaça.

O líquido é succionado pelo centro ou extremidade, estes parafusos, ao girar, conduzem o líquido encerrado entre eles e a carcaça. A figura 68 ilustra este tipo de bomba.

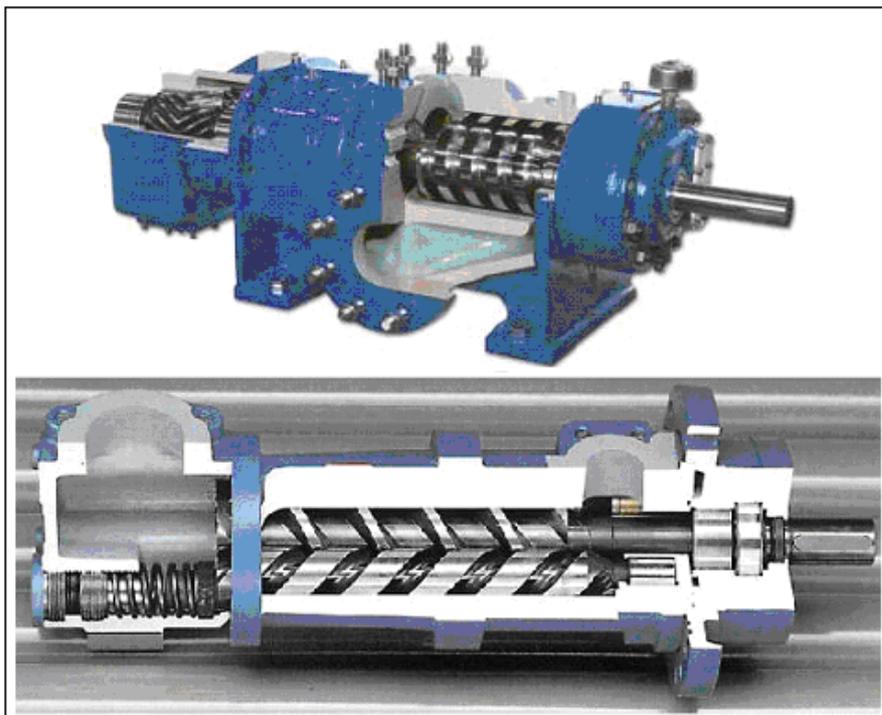


Figura 68 - Bomba Rotativa de Parafuso-duplo

Usos: bombeamento de líquidos viscosos; óleos lubrificantes;

3.11 Com três parafusos

O esquema de uma bomba de parafuso helicoidal contendo 3 parafusos. O eixo do meio é o eixo principal acoplado ao motor, enquanto os outros dois em paralelo são apoiados em mancais e engrenagens, firmemente balanceados e ajustados. O eixo principal gira num sentido enquanto os outros dois eixos rodam em sentido contrário sem atrito, o líquido é confinado nos sulcos e caminha no sentido axial da entrada até a descarga. (Figura 69)

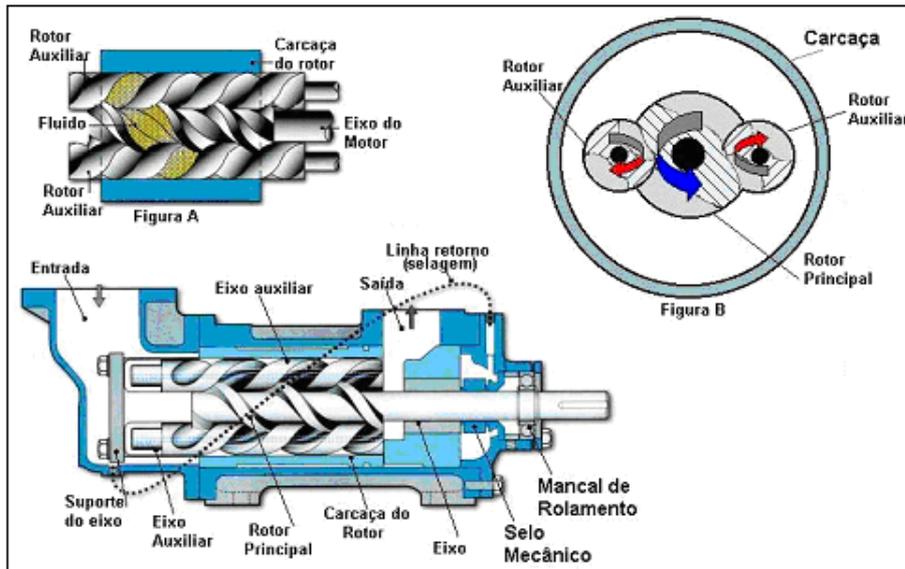


Figura 69 - Esquema de uma Bomba de Parafuso Helicoidal com 3 parafusos

3.12 Bomba Rotativa de Lóbulos

Neste tipo de bomba, o líquido é carregado entre os dentes do rotor e a câmara de bombeando. As superfícies do rotor criam uma selagem contínua. Ambos os rotors são movidos e sincronizados ajustadas pelas engrenagens. As variantes deste tipo de bomba incluem rotors em forma de oito (dois lóbulos), o tri-lóbulo, e as configurações do multi-lóbulo. Figura 70 é uma bomba do tri-lóbulo.

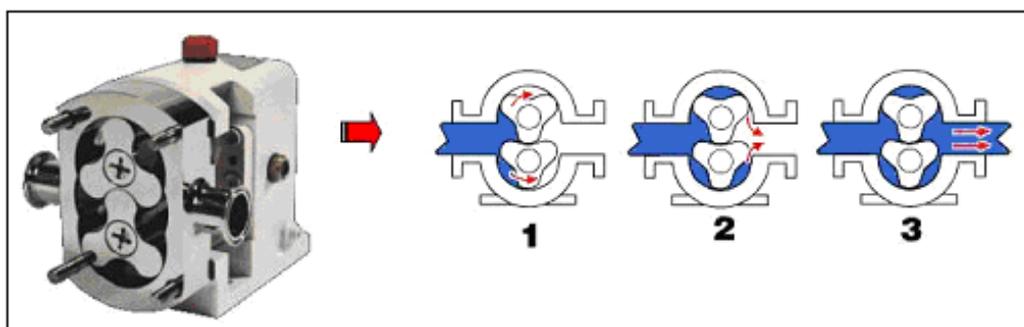


Figura 70 - Bomba de Lóbulos (Tri-lóbulos)

As bombas de lóbulos são usadas em uma variedade de indústrias incluindo, da polpa, do papel, do produto químico, de alimento, de bebida, farmacêutica, e bioquímico.

São populares nestas indústrias porque oferecem qualidades sanitárias superior as demais bombas apresentam eficiência elevada, confiabilidade, a resistência de corrosão.

Essas bombas giratórias podem operar com sólidos (por exemplo, cerejas e azeitonas), pastas, e uma variedade de líquidos. Se molhada, oferecem o desempenho de escorva automática.

Apresenta um bom desempenho de bombeando delicado minimizando a degradação do produto. Também oferecem fluxos contínuos e intermitentes. Podem operar secos por períodos de tempo breves.

O fluxo é relativamente independente das mudanças na pressão processo, assim a descarga é constante e contínua. São de fácil limpeza e manutenção. Alguns fabricantes oferecem as bombas que permitem manutenção do selo com a bomba em operação.

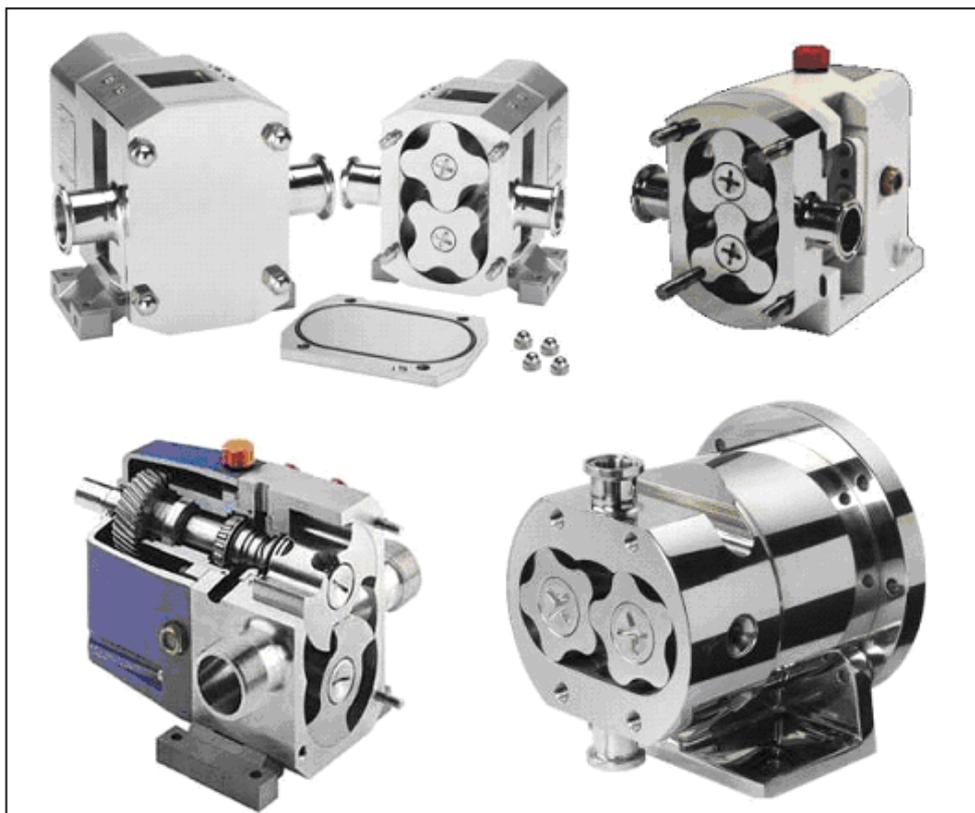


Figura 71- Modelos diversificados de Bombas de Lóbulos

Acima já foram citadas as suas qualidades, a qual pode repetir abaixo:

3.12.1 Vantagens

- Fácil limpeza, operação e manutenção;
- Podem operar a seco por um pequeno período de tempo;
- Apresentam boa condição de sucção (vácuo) e descarga não pulsante;
- São auto escorvante, podem partir à seco;
- Fluxo de descarga é constante e contínuo, independente das variações das condições de processo;
- Boa operação sem degradar o produto manuseado;
- Não há contato metal com metal;

3.12.2 Desvantagens

As engrenagens devem estar bem ajustadas;

- Requer dois selos;
- Apresenta vazamento reduzido operando com líquidos finos

3.13 Princípio de Operação

A operação das do tipo lóbulo é similar à das bombas de engrenagem externas. Ao contrário das bombas de engrenagem externas, entretanto, os lóbulos não fazem o contato.

O contato do lóbulo é impedido pelas engrenagens externas ajustadas na caixa de engrenagens.

Os rolamentos da sustentação do eixo da bomba são posicionados na caixa de engrenagens, e não entram em contato com líquido bombeado.

1) Quando os lóbulos se movimentam criam uma zona de vácuo na sucção. O líquido flui na cavidade e está preso pelos lóbulos enquanto giram.

2) O líquido viaja em torno do interior da bomba entre a câmara formada entre os lóbulos e a carcaça, não há passagem entre os lóbulos.

3) Finalmente, engrenagem dos lóbulos força o líquido através da descarga contra a pressão do sistema.

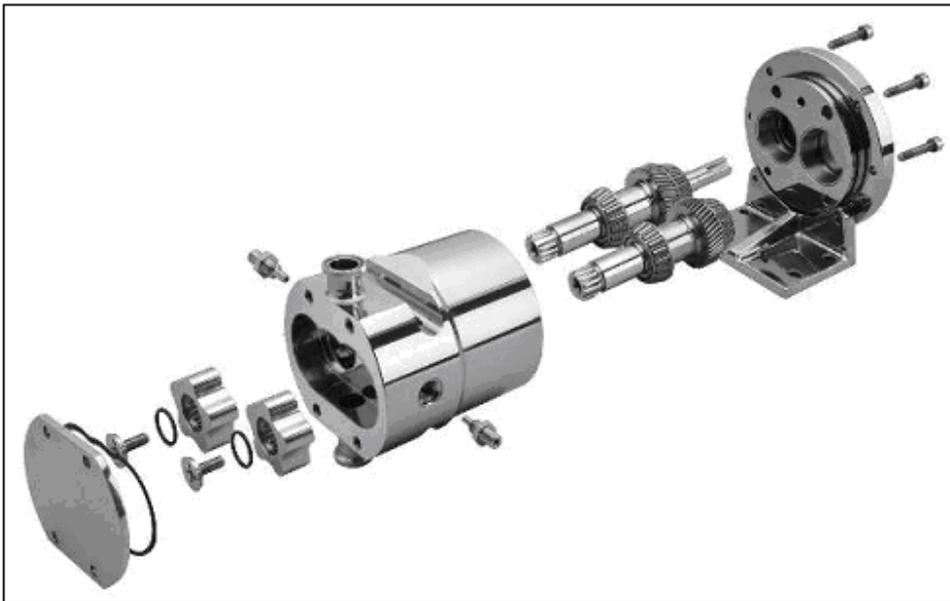


Figura 72 - Bomba de Lóbulos - Desmontada

Usos:

As bombas de lóbulos são usadas frequentemente em aplicações de alimento porque seguram sólidos sem danificar o produto.

Os tamanhos das partículas bombeadas podem ser muito maiores nas bombas de lóbulos do que em outros tipos de bomba, dependendo do ajuste dos rotores e da carcaça. Para líquidos muito viscosos há necessidade de redução da velocidade para manter um bom desempenho. Já foram citados acima.

É uma bomba com dois rotores em forma de número oito, paralelos, girando em sentidos contrários dentro de uma carcaça. A bomba de lóbulo pode ser considerada como um caso limite de uma bomba de engrenagens, existindo vários modelos com dois "dentes" ou mais.

A figura 71 ilustra vários modelos deste tipo de bomba, e na figura 72, observamos uma bomba desmontada.

Entre os quatro tipos principais de bombas rotativas, as que tem maior aplicação são as de palhetas e de engrenagens. As helicoidais e a de lóbulos são pouco usadas.

3.14 Operação de Bombas Rotativas

3.14.1 Partida

Antes da partida deve ser feita uma inspeção na bomba, no acionador, nos dispositivos auxiliares e no local de trabalho no tocante a limpeza, segurança pessoal e do equipamento, montagem correta, disponibilidade de lubrificante e desimpedimento para entrada em operação.

Após esta inspeção, verificar o correto alinhamento da bomba no sistema, abrir a válvula da sucção, manter fechada a válvula de descarga, abrir a válvula da linha de desvio que vai da descarga à sucção, e abrir a válvula do manômetro para colocá-lo em operação. Depois de tomadas todas estas providências, dar partida no acionador, e logo após ter entrado em regime normal de funcionamento, abrir a válvula de descarga. As regulagens de vazão e da pressão devem ser feitas nas válvulas de descarga e de desvio, respectiva e concomitantemente.

Lembrar sempre que jamais uma bomba rotativa deve entrar em funcionamento com a sua descarga bloqueada. Sempre deve ser aberta a válvula de linha de desvio antes da partida, ou no caso desta não existir na instalação, o que é raríssimo, abrir ligeiramente a válvula de descarga antes de dar partida no acionador. Se estas medidas não forem tomadas podem ocorrer danos na instalação por excesso de pressão na descarga da bomba, pois nem sempre é previsto um sistema de segurança contra sobre pressão.

Após entrar em funcionamento normal observar a pressão indicada no manômetro para que não seja ultrapassada a pressão normal prevista para a operação da instalação.

3.14.2 Parada

Na parada devem ser observadas as sequências inversas da partida:

- a) abrir válvula de desvio;
- b) fechar a válvula de descarga, parar acionador;
- c) fechar válvulas de sucção e da linha do manômetro.

3.14.3 Rotinas Operacionais

Além das verificações gerais já citadas nas recomendações de operação de bombas centrífugas, tais como ruídos, vibrações, aquecimento, lubrificação, vazamentos. etc., verificar periodicamente a pressão na descarga, fator muito importante na operação de bombas rotativas.

Não esquecer que bombas rotativas não podem funcionar com a descarga bloqueada, pois a pressão pode atingir valores elevados e danificar a instalação. As *Bombas rotativas* não podem funcionar muito tempo vazio, com válvulas de sucção fechadas, pois uma vez que seus componentes móveis (palhetas, engrenagens etc.) são lubrificados pelo próprio líquido em bombeamento, pois a falta deste, dentro de bombas em funcionamento, pode danificá-lo. Sempre que for constada alguma anormalidade deve ser solicitada a presença do pessoal de manutenção.

3.15 Bombas Alternativas ou recíprocas

São aquelas que têm apresentam movimento alternativo (vai e vem), destacando-se as bombas:

- Pistão;
- Diafragma.

3.15.1 Bombas de Pistão

Dentro de um cilindro, onde o líquido entra pela válvula de sucção quando o êmbolo se move no sentido de recuo e é expelido por ele pela válvula de descarga ao se mover no sentido de avanço.

3.15.2 Classificação

Quanto à *ação de bombeamento* os cilindros podem ser construídos do tipo:

A) ***Simples efeito ou ação simples*** nesse tipo de ação as bombas succionam e descarregam o líquido apenas de um lado do êmbolo, isto é, durante um ciclo completo de operação ida e volta, há somente uma sucção e uma descarga. Figura 73 A

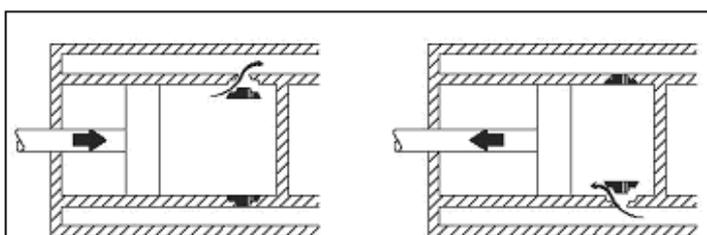


Figura 73 A - Bomba Alternativa de Ação Simples

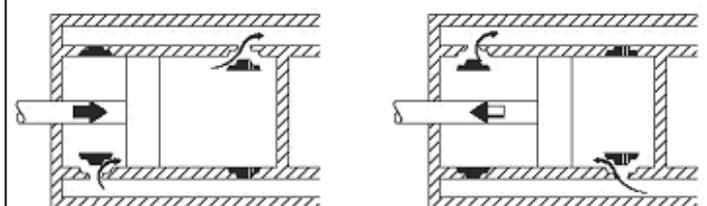


Figura 73 B - Bomba Alternativa de Ação Dupla

B) **Duplo efeito ou ação dupla**, nas de ação dupla o líquido é admitido e expelido pelos dois lados, isto é, durante um ciclo completo de operação ida e volta, há duas operações de sucção e duas de descarga, figura 73 B. As de ação dupla são mais empregadas. O fluxo nestas bombas é mais uniforme que nas de ação simples.

Quanto a *posição dos cilindros*:

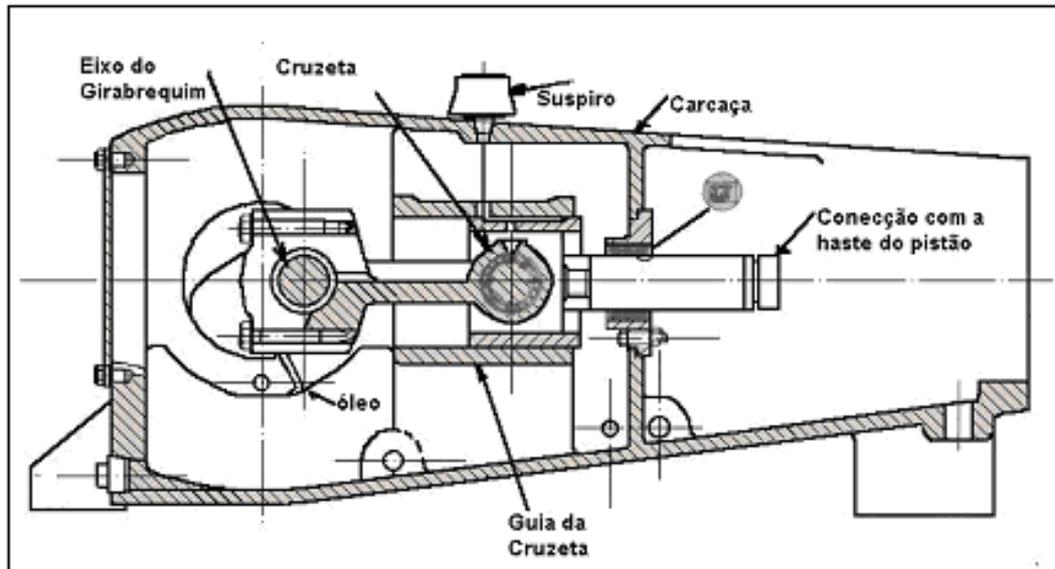


Figura 74 - Bomba Alternativa horizontal

a) Horizontal: a linha central axial do cilindro é horizontal, figura 74.

b) Vertical: A linha central axial do cilindro é vertical. Figura 75.

Quanto ao **número de cilindros**:

- **Simplex:** somente 1 cilindro;
- **Duplex:** com 2 cilindros.
- **Tríp lex:** com 3 cilindros.
- **Multiplex:** quando possuir mais de 3 cilindros.

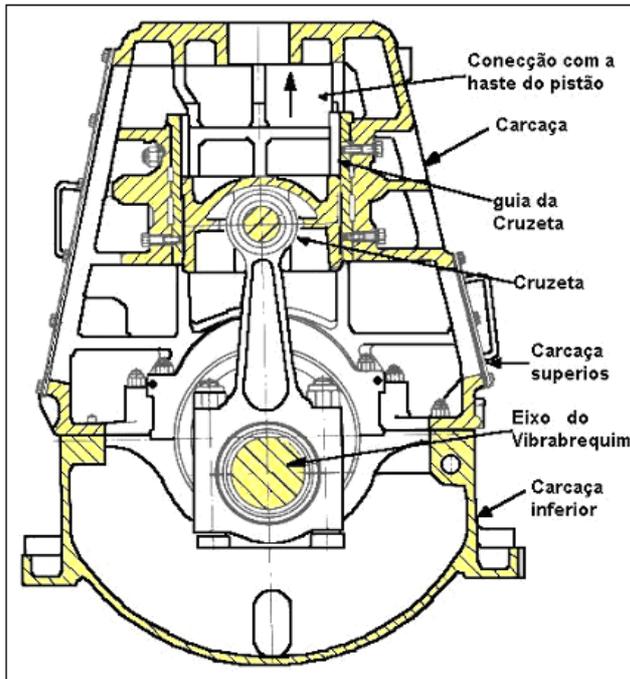


Figura 75 - Bomba Alternativa Vertical

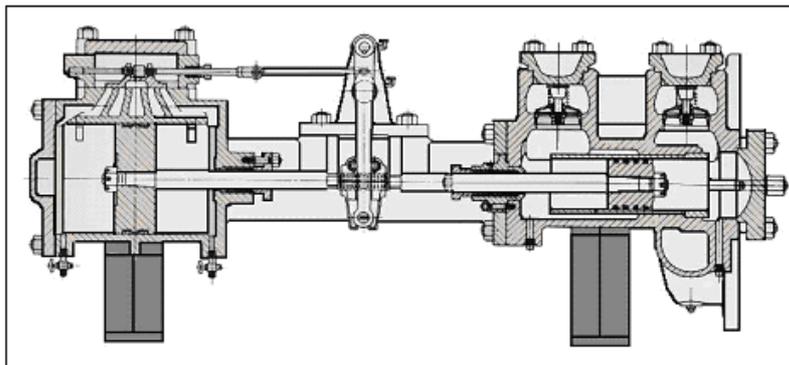


Figura 76 - Bomba Alternativa - Ação motriz (pistão de vapor)

Quanto à **ação motora**:

- Movido **a motor**.
- Movido **a vapor**, pode ser combinado, figura 76:

C) **Simplex** quando a bomba apresenta somente um cilindro de vapor acionando um cilindro de líquido, figura 77

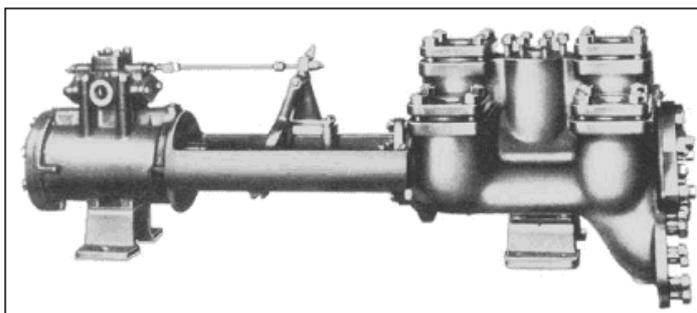


Figura 77 - Bomba Alternativa à vapor simplex

D) **Duplex**: quando a bomba apresenta dois cilindros de vapor montados lado a lado com dois cilindros de líquido, figura 78.

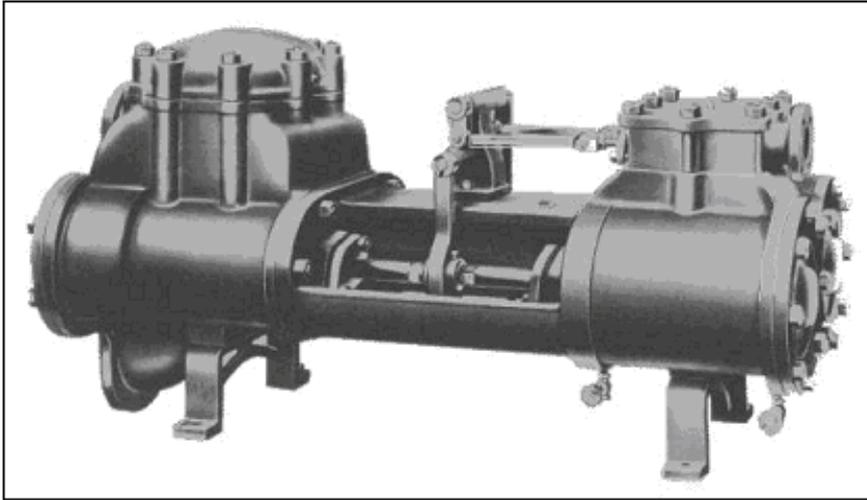


Figura 78 - Bomba Alternativa à vapor duplex

3.16 Componentes

Os principais componentes de uma bomba alternativa são:

- carcaça (ou corpo);
- êmbolo (ou pistão);
- haste

3.16.1 Carcaça (ou Corpo)

É a parte fixa dentro da qual se movimenta o êmbolo. Possui as aberturas para sucção e descarga, providas de válvula do tipo de retenção que só permitem o fluxo do líquido em um sentido: de entrada na sucção e de saída na descarga. Tem também a abertura para a passagem da "haste", que transmite o movimento de vai e vem do êmbolo alojado internamente.

Nesta abertura de passagem de haste existe o sistema de vedação que impede o vazamento do líquido de dentro da carcaça para fora através da folga entre a haste e o furo.

Geralmente a carcaça é constituída de um cilindro oco dentro do qual se movimenta o êmbolo, fechado nas extremidades, uma delas possuindo a abertura de passagem da haste, e as outras aberturas de sucção e descarga com as respectivas válvulas. Na tampa com passagem para a haste existe o sistema de vedação que impede o vazamento do líquido.

3.16.2 Êmbolo (ou pistão)

É uma peça cilíndrica que executa o movimento alternativo dentro do cilindro. No seu movimento de recuo cria um espaço vazio dentro do cilindro provocando a admissão do líquido pela válvula de sucção.

No movimento inverso, de avanço, expelle o líquido succionado anteriormente através da válvula de descarga. Estas válvulas de sucção e descarga como descrito anteriormente, só permitem a passagem do líquido em um sentido.

Quando o êmbolo executa movimento de recuo, o líquido contido na descarga e impedido, pela válvula de retenção correspondente de entrar no cilindro, sendo admitido apenas líquido pela válvula de sucção.

Quando o êmbolo executa movimento inverso, isto é, quando avança o líquido contido dentro do cilindro é expelido pela válvula de descarga, sendo impedido de retornar para a tubulação da sucção pela ação de válvula de retenção da mesma.

3.16.3 Haste

É o componente que transmite o movimento alternativo do acionador para o êmbolo. Faz o papel do eixo nas bombas centrífugas, que transmite o movimento de rotação ao impelidor.

3.17 Princípio de Funcionamento da Bomba Alternativa

A bomba exerce a sua ação de bombeamento pela compressão e expansão alternadas, produzidas pelo êmbolo dentro do cilindro. Assim o líquido é movimentado pelo aumento e diminuição alternados do volume disponível dentro do corpo da bomba.

Quando o volume aumenta, o líquido é succionado para o interior do cilindro e quando o volume diminui, o líquido é expulso para o exterior da bomba.

As duas válvulas de retenção, uma colocada na entrada e outra na saída, obriga o líquido a manter apenas único sentido de escoamento.

O movimento das válvulas de retenção da sucção e da descarga é provocado pela diferença de pressão entre os lados interno e externo. Esta diferença de pressão é gerada pela distensão e compressão decorrente do movimento do êmbolo dentro do cilindro.

3.17.1 Acionamento

Na figura 79 está esquematizado o sistema de ação motriz (à vapor da bomba alternativa.

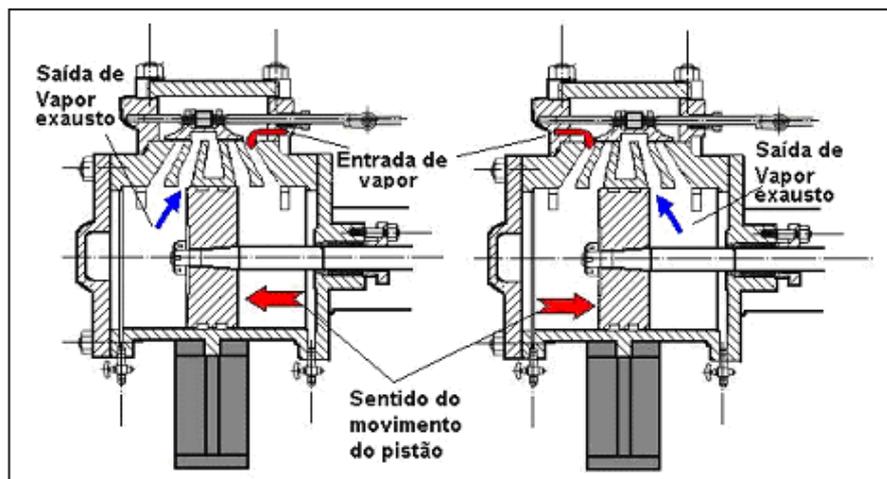


Figura 79 - Esquema da Distribuição do Vapor no cilindro de vapor

O êmbolo está ligado por uma haste ao acionador da bomba. O acionador pode ser uma turbina, ou um motor elétrico ou um motor a explosão. O acoplamento da haste da bomba ao acionador é feito por uma redução que transforma o movimento rotatório do acionador em movimento alternativo de acordo com as figuras acima.

Em muitos casos o acionador é um sistema inverso do da bomba alternativa, formando parte integrante da bomba. Este sistema consta de um cilindro dentro do qual corre um êmbolo. Este cilindro acionador tem o seu êmbolo movimentado pela ação de um agente acionador, ar comprimido ou vapor d'água sob pressão (figuras, 76, 77, 78).

O vapor entrando alternativamente de um lado e de outro do êmbolo, aciona o êmbolo de um lado para o outro, (fig. 79). A válvula distribuidora de vapor regula a admissão e a exaustão do vapor alternativamente em cada um dos lados do vapor. A haste do êmbolo de vapor está ligada a haste do êmbolo de líquido, possibilitando assim a transmissão do movimento.

3.17.2 Vedação

Conforme foi visto, as válvulas de sucção e descarga do corpo da bomba funcionam como válvulas de retenção. Na **fig.79** temos um exemplo típico destas válvulas.

O assento da válvula está preso no corpo da bomba e possui, no centro, um eixo no qual desliza um disco. O disco desliza sob a pressão da mola e das diferenças de pressão do líquido.

O engaxetamento do cilindro no ponto em que a haste aflora do corpo da bomba, é semelhante ao caso das gaxetas da bomba centrífuga.

O êmbolo possui um sistema de vedação colocado em sua periferia, (fig.79).

São os anéis de segmento. Em algumas bombas o engaxetamento é colocado no cilindro e o êmbolo fica parcialmente mergulhado no cilindro.

3.17.3 Características e Aplicação

As bombas alternativas são capazes de criar pressões extremamente altas que podem chegar a dezenas e até centenas de kgf/cm^2 , porém só podem trabalhar com baixa frequência, num intervalo de 250 a 500 ciclos por minuto.

Por este motivo são bombas de grandes dimensões, consideravelmente maiores que as centrífugas de mesma potência. São bastante empregadas na indústria petrolífera e química no bombeamento de produtos de alta viscosidade. As de pequeno porte são empregadas em diversas esferas. Um exemplo de aplicação de bomba de êmbolo de pequeno porte é em dispositivos de levantamento de cargas (macacos hidráulicos).

Bombas alternativas de pequeno porte, de um tipo especial com curso variável, são empregadas na dosagem de produtos químicos. Um exemplo de tal aplicação é a dosagem de produtos químicos de tratamento de água para caldeiras. Estes produtos (morfolina, hidrazina, tripolifosfato, etc.) são injetados em quantidades adequadas e controladas, na linha de água de alimentação de caldeiras.

Estas bombas alternativas servem para esta finalidade porque são bombas volumétricas (bombeiam praticamente o mesmo volume em cada revolução) atendendo então a condição de dosagem controlada e produzem pressão elevada, atendendo a condição imposta pela injeção dos produtos na linha de alimentação, que está à uma pressão superior à da caldeira.

Com a válvula de descarga fechada as bombas alternativas tem comportamento semelhante as bombas rotativas, pois a pressão na sua descarga pode atingir valores extremamente altos. Por esta característica as *bombas de êmbolo não devem nunca funcionar com a descarga bloqueada.*

O fluxo nas bombas alternativas não é uniforme como nas rotativas e centrífugas, tendo característica pulsante. Nas bombas de ação dupla (duplex) o fluxo já se torna mais uniforme que nas de ação simples.

Quando paradas, as bombas alternativas não permitem a passagem do líquido através delas (são bombas de deslocamento positivo, como as rotativas). Por esta característica não necessitam de líquido no seu interior para a partida, pois o vácuo parcial que atua na sucção é criado diretamente pelo movimento de recuo do êmbolo. Porém, quando as válvulas de retenção de sucção e descarga não vedam bem, há passagem de retorno dos gases ou vapores através delas, não se conseguindo dar partida (na verdade as válvulas não foram projetadas e construídas para vedar gases ou vapores e sim líquidos).

3.17.4 Operação

Na operação de bombas alternativas devem ser tornados os mesmos cuidados preliminares já citados para operação de bombas centrífugas e rotativas referentes a inspeção do acionador, do local de trabalho, da própria bomba e seus dispositivos auxiliares no tocante a limpeza, segurança pessoal e do equipamento, montagem correta, disponibilidade de lubrificante, desimpedimento para entrada em operação e alinhamento correto no sistema.

A capacidade de uma bomba alternativa praticamente independe da pressão contra a qual tem, que bombear. Depende apenas do diâmetro, curso e frequência do êmbolo. Para regular a vazão de uma tal bomba será necessário alterar um destes três valores.

Considerando que o diâmetro não pode ser alterado restam apenas o curso e a frequência (rotação) para regulagem da capacidade. Quando o acionador é do tipo de rotação constante (motor síncrono, motor de indução) a única maneira de alterar o curso.

Existe um outro modo de regular a vazão da bomba regulando a abertura da válvula da linha de desvio. Com isso a vazão através da bomba fica inalterada, mas parte dela é retornada para a sucção.

Quando a bomba é acionada por motor alternativo a vapor, é conveniente seguir os seguintes passos para a partida:

- a) alinhamento da sucção e descarga
- b) verificação do sistema de lubrificação;
- c) drenagem do condensado;
- d) colocação do manômetro em operação;
- e) aquecimento;
- f) admissão de vapor;
- g) entrada em regime, com regulagem da vazão.

Quando a bomba é acionada por motor elétrico, os passos para a partida devem ser os seguintes:

- a) alinhamento da sucção e descarga;
- b) verificação do sistema de lubrificação;
- c) abertura do desvio
- d) colocação do manômetro em operação;
- e) partida do motor;
- f) abertura da descarga;
- g) regulagem de vazão.

Para a parada das bombas alternativas devem ser seguidos os passos inversos da partida. Um cuidado especial a ser tomado na operação de bombas alternativas é com relação à pressão de descarga. Estas bombas não podem funcionar com a descarga bloqueada ou obstruída, sob pena da pressão subir a um valor extremamente alto, podendo acontecer os seguintes casos:

- a) parar por insuficiência de força por parte do acionador para impulsionar o êmbolo;
- b) ruptura de uma das partes da bomba ou do sistema.

3.17.5 Bomba de Diafragma

As bombas de diafragma não possuem comparação com compressores ou ventiladores para manuseio de gases. Muitas bombas tipo diafragma são usadas para dispositivos de medição e outras são usadas como bombas de pequenos reservatórios.

Uma bomba de diafragma pode ser de acionamento pneumático, é versátil, eficiente, leve, facilmente transportável, extremamente flexível nas aplicações e que bombeiam praticamente qualquer produto que possa fluir através de uma mangueira ou de um tubo.

Acionada a ar comprimido, a bomba é de simples operação, fácil instalação, não requer fundações, é silenciosa, auto aspirante (até aproximadamente 8 metros) e tem capacidade e pressão variáveis. Pode operar a seco, afogada, em aspiração ou submersa. Pode trabalhar com as linhas de descarga fechadas sem a necessidade de válvulas de alívio.

Bombeia indiferentemente sólidos em suspensão, líquidos abrasivos, produtos químicos e centenas de outros fluídos.

Não possui selos nem gaxetas e é segura em ambientes explosivos, não possui elementos rotativos. As bombas de diafragma apresentam com uma ou duas câmaras, figura 80.

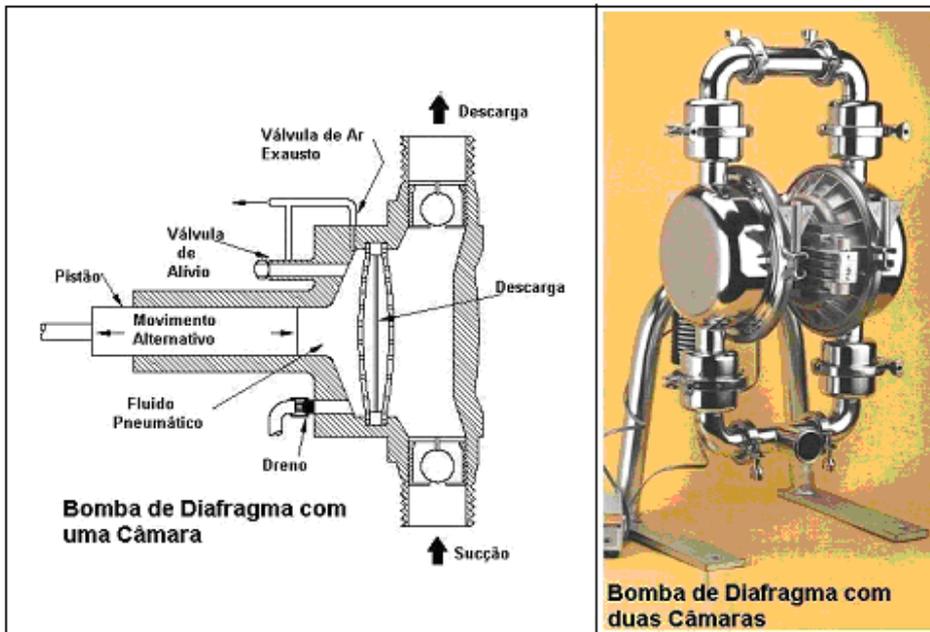


Figura 80 - Bombas de diafragma

3.18 Operação bomba de diafragma de duas câmaras

A válvula de distribuição direciona o ar sob pressão a uma das duas câmaras atrás do diafragma. Pressurizado nesta câmara, o ar empurra o diafragma para o lado em que a câmara se situa, forçando assim, o fluido que está na câmara a frente do diafragma através das válvulas de retenção na saída da bomba (parte superior).

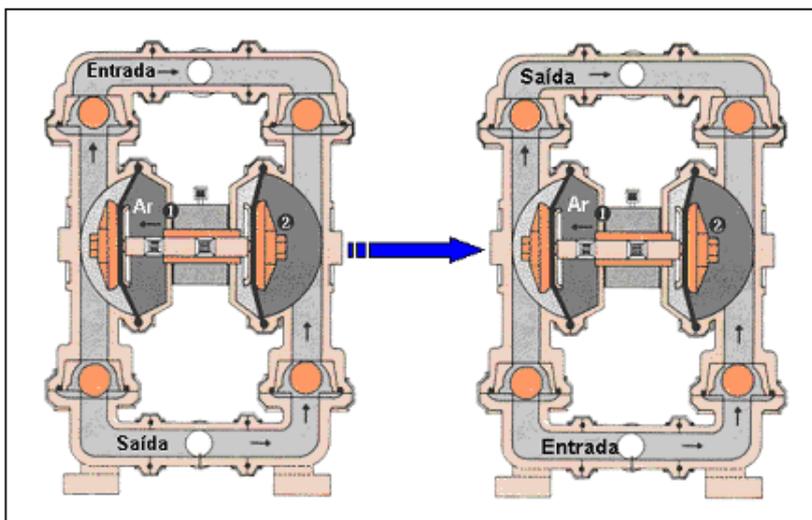


Figura 81 - Operação de uma Bomba de Diafragma

4.0 Referências

- Apostila de Bombas Industriais do SENAI.
- Livro Eletromecânica do SENAI.
- Catálogo de Bombas da IMBIL.
- Manual de Instalação, operação e manutenção INI IMBIL.