

Capítulo VI

Bombas de Vácuo

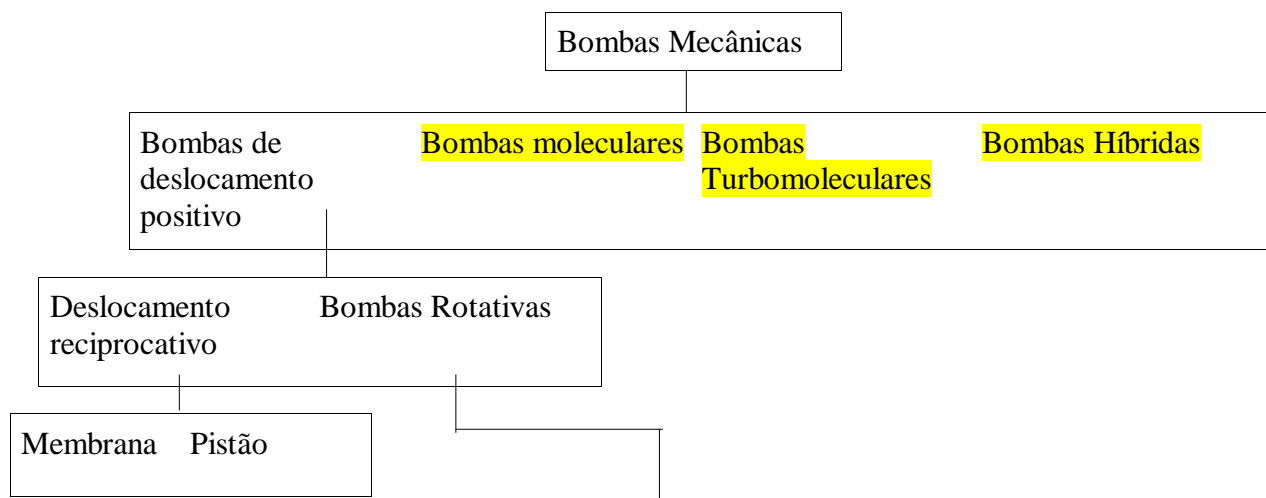
Introdução

A fim de reduzir a densidade molecular e, portanto, a pressão, em um recipiente, as moléculas do gás devem ser dele retiradas. Isto é feito pelas assim chamadas bombas de vácuo (que já se procura designar como compressores de gases rarefeitos). De um modo muito geral, as bombas de vácuo podem ser classificadas em dois grupos: o primeiro é designado de bombas de transferência, que são bombas que transportam o gás do recipiente para a atmosfera ou para recipientes ou ou outras bombas com pressões maiores que as de sua entrada; o segundo são as bombas de aprisionamento, que retiram as moléculas do recipiente prendendo-as em suas paredes por processos físicos ou químicos.

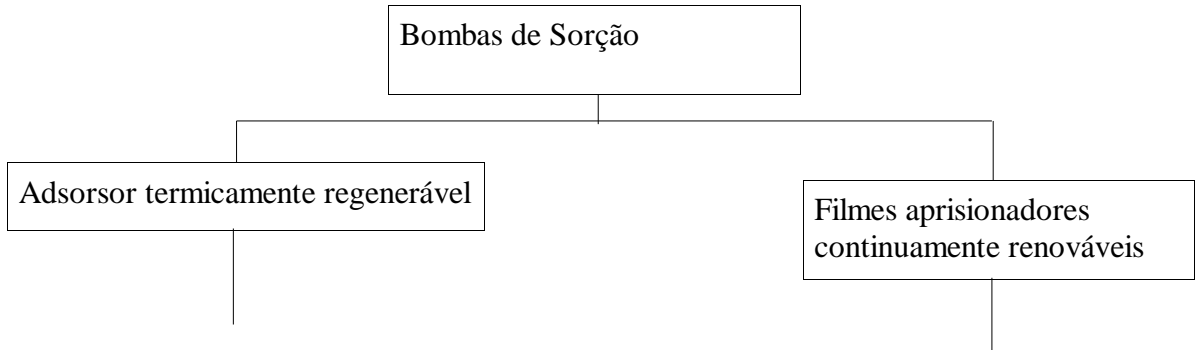
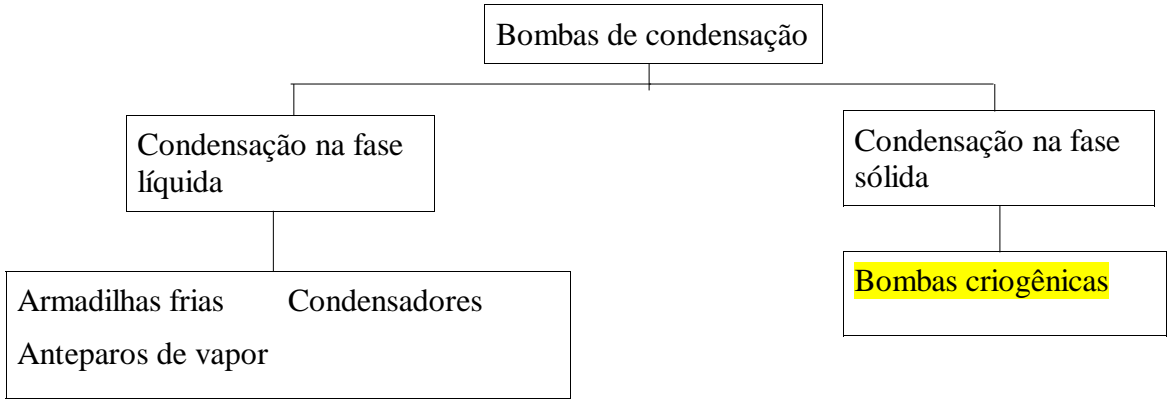
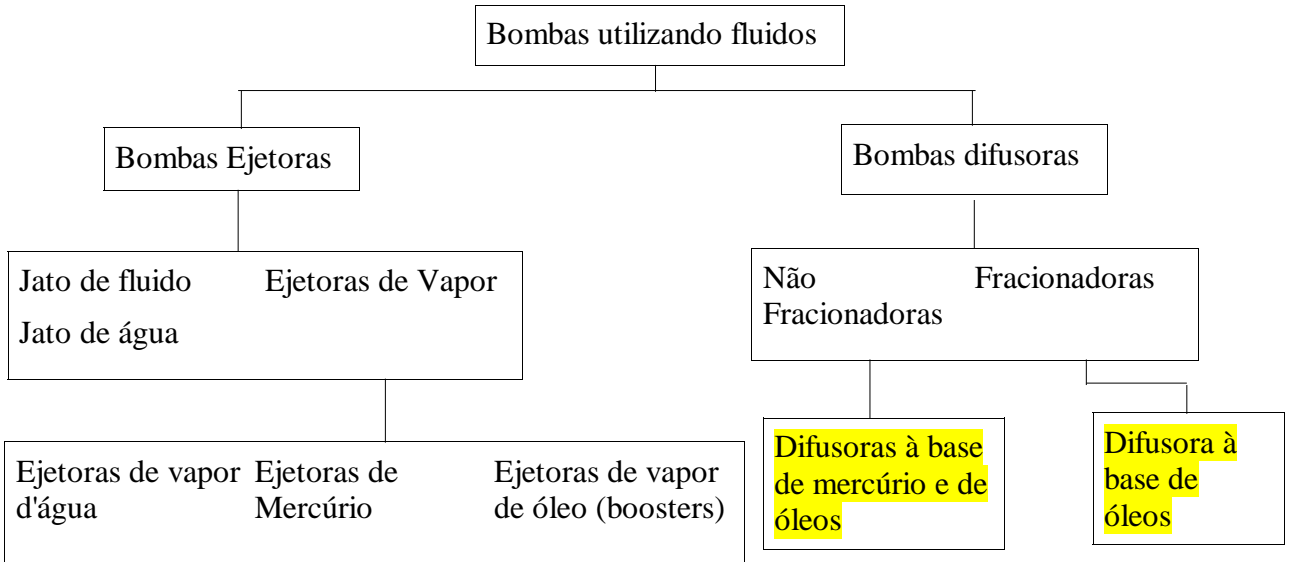
As bombas do primeiro grupo, as de transferência, podem ser divididas em três tipos: a) bombas que operam criando volumes de câmaras que periodicamente crescem e decrescem (ou expandem e comprimem), como acontece nas bombas de pistão, de membrana, e outros tipos; b) bombas cujo volume interno é fixo e que de algum modo transferem o gás da região de baixa pressão para a de alta pressão (compressão, arraste molecular), como as bombas Roots e as turbomoleculares; c) bombas em que o bombeamento se dá por arraste por viscosidade ou por difusão, como acontece nas bombas ejetoras de vapor e nas difusoras.

As bombas do segundo grupo, as de aprisionamento, podem ser divididas em dois tipos: a) bombas que aprisionam o gás permanentemente por processos físico-químicos, como nas bombas iônicas e de aprisionamento químico (getters); b) bombas que aprisionam o gás enquanto uma certa condição física é mantida (em geral, temperatura baixa), como acontece nas bombas por adsorção e nas criogênicas.

A Fig. 6.1 descreve esquematicamente os principais tipos de bombas disponíveis para a produção de vácuo em laboratório ou na indústria. Nesta apostila, trataremos apenas os tipos mais usados academicamente, e que são marcados em amarelo na Fig. 6.1.



Pistão Rotativo (gaveta)	Pistão Rotativo (Trocóide)	Palhetas Rotativas	Palheta Deslizante (pêndulo)	Seca tipo "Tongue and Groove"	Seca tipo Engrenagens	Roots	Anel líquido
--------------------------	----------------------------	--------------------	------------------------------	-------------------------------	-----------------------	-------	--------------



Armadilhas de
adsorção

Bombas de
adsorção

Evaporação Térmica
(Sublimação)

Evaporação catódica
Bombas iônicas

Fig. 6.1: Principais tipos de bombas (arquivo Relacao bombas cap 6 05 02.sdw)

Parâmetros definindo diferentes tipos de bombas

A seleção do tipo de bomba a ser usado em cada caso específico é função dos requerimentos que o sistema a ser evacuado impõe. As bombas são caracterizadas por possuírem alguns parâmetros intrínsecos à sua construção e ao princípio de bombeamento em que se baseiam. Os principais parâmetros são: a pressão mais baixa que alcançam, o intervalo de pressões em que podem ser usadas, a velocidade de bombeamento e a pressão de exaustão (ou de saída). No caso de ultra-alto-vácuo dois outros parâmetros são importantes: a seletividade da bomba para gases e a composição do gás residual.

A pressão mais baixa que pode ser alcançada na entrada de uma bomba é determinada ou por vazamentos internos a ela, ou pela pressão de vapor do fluido utilizado na bomba. Esta pressão mais baixa é, evidentemente, o limite inferior do intervalo de pressão em que a bomba pode trabalhar. A Fig. 6.2 mostra a classificação das bombas pelo seu limite inferior de pressão e também pelo seu intervalo de trabalho (ver item a seguir).

O intervalo de pressão em que uma bomba pode trabalhar é aquele em que sua velocidade de bombeamento pode ser considerada útil. As Figs. 6.2 e 6.3 mostram o intervalo de trabalho e a velocidade de bombeamento normalizada para diferentes tipos de bombas. Bombas de mesmo tipo mas de diferentes tamanhos ou estágios podem ter intervalos de pressão diferentes e adjacentes, ou seja, o mesmo tipo de bomba pode apresentar intervalo de pressão diferente do intervalo de pressão para uma bomba específica daquele mesmo tipo.

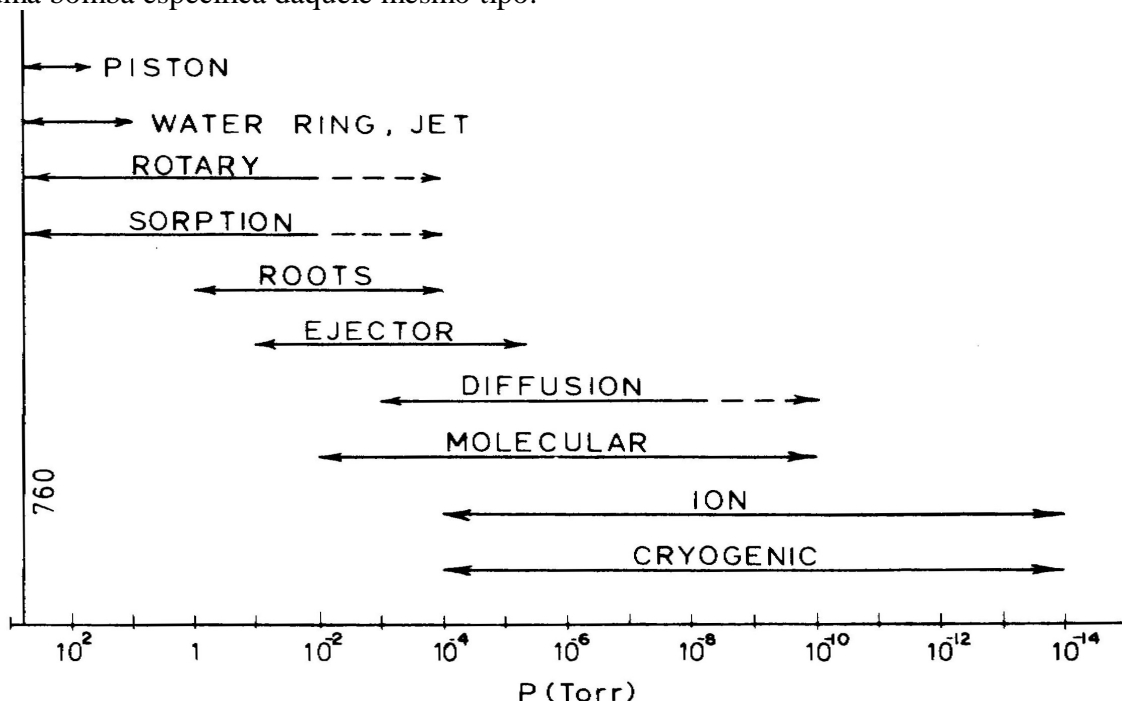


Fig. 6.2: Intervalo de pressões de alguns tipos de bombas de vácuo (Fig. 5.1 Roth, pg 201)

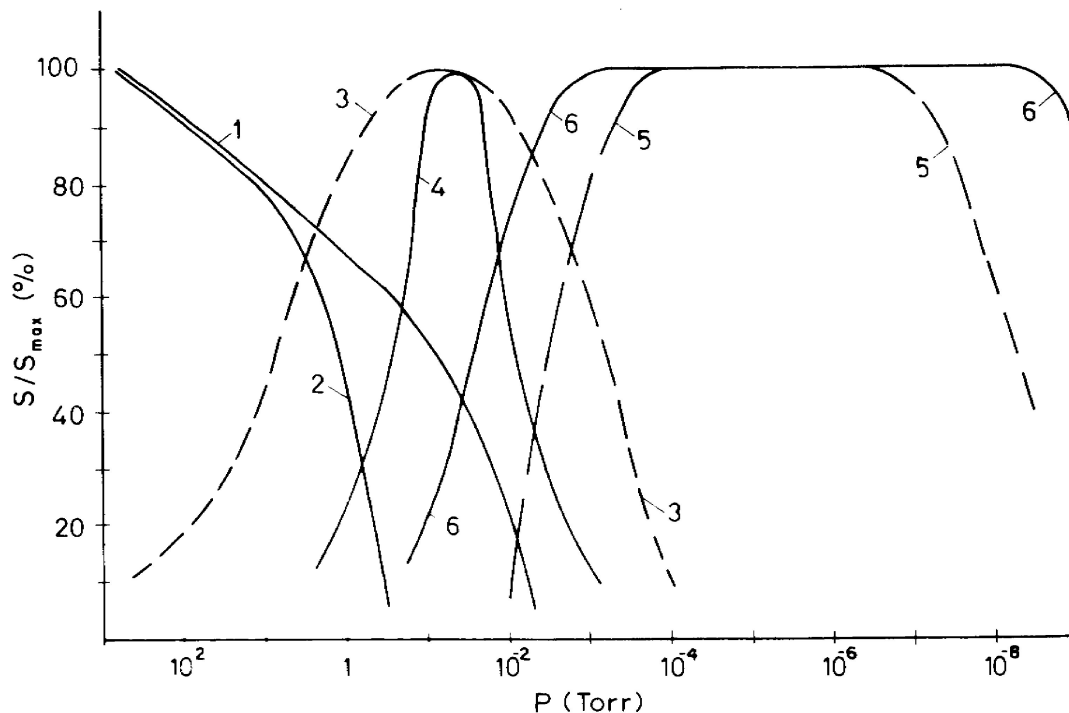


Fig. 6.3: Velocidades de bombeamento normalizadas para alguns tipos de bombas de vácuo (Fig. 5.2 Roth, pg 202)

Outro parâmetro muito importante é a velocidade de bombeamento de uma bomba, pois este parâmetro, combinado com dados do sistema, permite o dimensionamento de sistemas de vácuo. Em geral, a velocidade de bombeamento não é constante em todo o intervalo de pressão de trabalho, apresentando formatos como os ilustrados na Fig. 6.3. Todavia, vários tipos de bombas apresentam velocidades de bombeamento razoavelmente constantes em alguns intervalos de pressão, o que acaba justificando a aproximação de $S = \text{cte}$ feito para alguns cálculos simplificados de sistemas de bombeamento.

A pressão de saída ou pressão de exaustão é a pressão "contra" a qual a bomba deve trabalhar, ou seja, é a pressão mínima à qual ela deve comprimir o gás rarefeito para ele ser ou recolhido por outra bomba ou ser jogado à atmosfera. Em relação a este item, podemos colocar 3 tipos de bombas. O primeiro corresponde às bombas que trabalham a partir da pressão atmosférica e que jogam o ar retirado do sistema para a própria atmosfera, ou que recolhem o gás a baixa pressão de outra bomba e o comprimem até poder jogá-lo na atmosfera. Estas bombas são chamadas "primárias" (roughing pumps) ou de apoio (ou auxiliares ou "respaldo") (backing pumps). O bombeamento de um sistema a partir da atmosfera é chamado bombeamento primário ("roughing out"). A manutenção de uma baixa pressão na saída de outra bomba é chamada de bombeamento primário (backing). Bombas mecânicas rotativas e ejetores são típicas bombas de apoio ou respaldo. O segundo tipo são as bombas que fazem a exaustão a pressões sub-atmosféricas, ou seja, que necessitam de uma bomba de respaldo ou apoio em sua saída. Bombas difusoras e Roots são exemplos típicos desta classe de bombas. O terceiro tipo corresponde às bombas que não têm saída, ou seja, que aprisionam o gás em suas paredes, como as bombas de sorção e iônicas.

A Fig. 4.1 mostra um típico sistema de vácuo de laboratório, no qual a câmara é bombeada por uma bomba difusora, que por sua vez é respaldada por uma bomba mecânica de palhetas rotativas. No início da evacuação do sistema, quando a câmara tem gás na pressão atmosférica, a

bomba difusora é isolada da câmara pela válvula 11 e da bomba mecânica pela válvula 9, e a retirada do gás é iniciada pela bomba primária através da válvula 6. Quando a pressão atinge valores no intervalo de 10^{-2} torr, a válvula 6 é fechada, e as válvulas 11 e 9 são abertas, e a câmara passa a ser evacuada pela bomba difusora, que por sua vez é bombeada pela bomba primária.

Vamos passar agora à descrição de algumas bombas importantes para o trabalho acadêmico.

1) Bomba mecânica de palhetas rotativas

Esta bomba é constituída de um estator cilíndrico que recebe um rotor excêntrico, como mostrado na Fig. 6.4. Este rotor possui duas fendas diametrais, nas quais correm duas palhetas que são forçadas contra a parede do estator por molas e/ou pela força "centrífuga" do movimento de rotação do rotor. Tanto o estator quanto o rotor são fabricados em aço, enquanto as palhetas podem ser de aço ou de um compósito polimérico (lembrar nome !). As extremidades do estator são fechadas por placas convenientes, que suportam o eixo do rotor. O estator também contém orifícios que são a

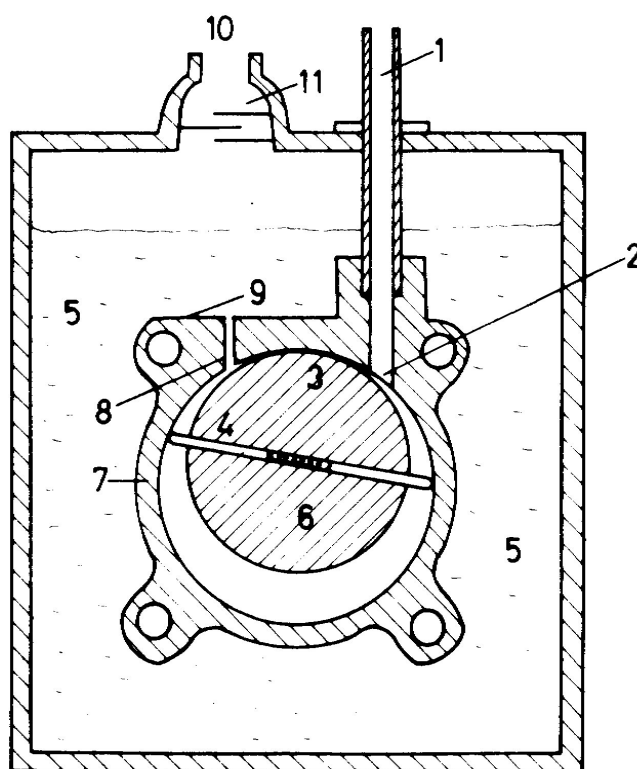


Fig. 6.4: Secção transversal esquemática de uma bomba de palhetas rotativas (Fig. 5.9 Roth, pg. 207) (completar descrição dos itens)

entrada e a saída do gás. A entrada de gás é ligada ao sistema que se quer bombear por conexões e tubulações apropriadas, em geral contendo um filtro de pó, enquanto a saída é ligada a algum sistema conveniente de exaustão para a atmosfera. Esta saída é fechada por uma válvula que usualmente é uma lâmina de metal ou de borracha (neoprene) que se dobra em uma lateral. Esta válvula normalmente fica imersa em óleo, como mostrado na fig. 6.4. A fig. 6.5 dá uma visão explodida de um conjunto estator-rotor.

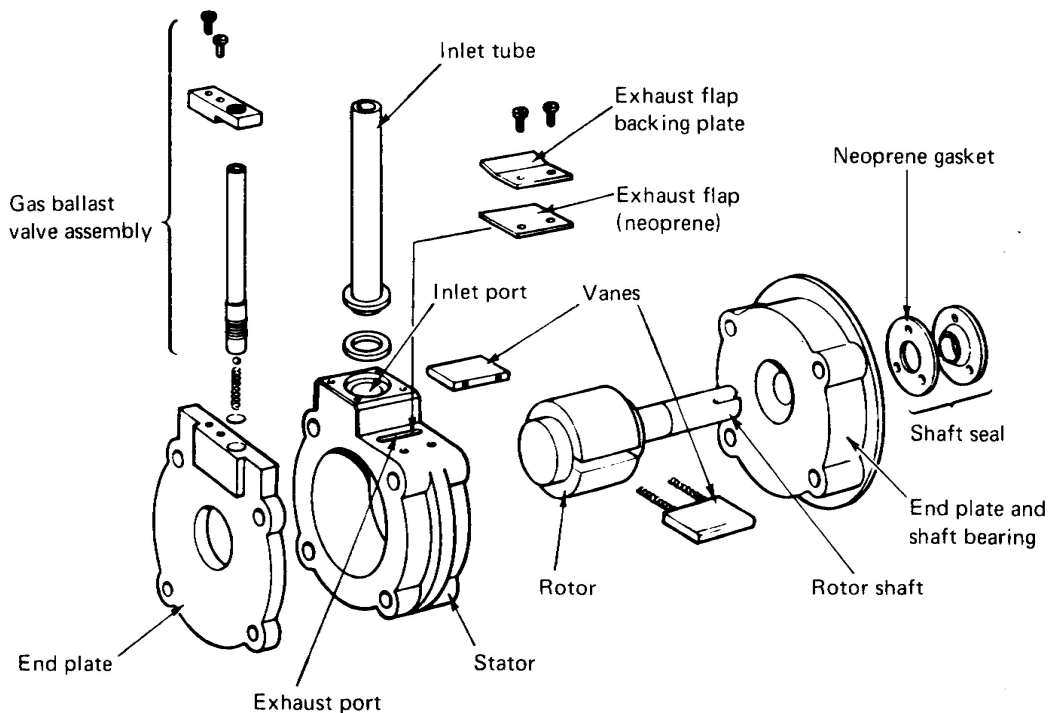


Fig. 6.5: Vista explodida de uma bomba de palhetas rotativas. (Fig. 5.10 Roth pg. 208)

Como já colocado acima, o rotor é um cilindro excêntrico ao estator, colocado de modo a que a linha de contacto entre ambos separe a entrada da saída de gás. Como os diâmetros são diferentes, esta morfologia dá origem a uma câmara, que é onde o gás será admitido a baixa pressão e comprimido a uma pressão ligeiramente acima da pressão atmosférica de modo a poder abrir a válvula de saída e ir para a atmosfera. Os outros limites desta câmara são as placas laterais que fecham o conjunto estator-rotor, e sustentam este último. Esta câmara será dividida em uma câmara de admissão (baixa pressão) e em uma câmara de compressão (alta pressão) à medida que as palhetas passam pelas aberturas de entrada e de saída. Note que ambos, estator e rotor, não podem se tocar, mas devem manter uma distância muito pequena entre si, pois o filme de óleo que se localiza entre eles é que forma o selo entre as câmaras de entrada e de saída, denominado selo superior. O óleo também faz o selo dinâmico nas laterais do conjunto, onde o rotor e as palhetas "encontram" as placas laterais. Em geral, estes espaçamentos devem ser da ordem de 2 a 3 μm para os selos funcionarem, e isto demonstra o nível de precisão da usinagem necessário para a fabricação deste tipo de bomba.

As palhetas são placas retangulares que se encaixam com folga muito pequena nas fendas do rotor e que podem deslizar livremente nestas fendas, tendo a extremidade que toca a superfície do estator arredondadas. Em geral, elas são mantidas separadas e em contacto com o estator por molas. Como há contacto contínuo entre as duas superfícies, elas devem estar sempre muito bem lubrificadas. Além disso, o óleo que faz a lubrificação também provê um filme de vedação (selo dinâmico) que isola as câmaras de alta e baixa pressão uma da outra. Todo o conjunto estator-rotor-placas é imerso em óleo, que fornece lubrificação, selagem e resfriamento a este conjunto.

A Fig. 6.6 ilustra o funcionamento deste tipo de bomba. Quando a palheta A passa pelo orifício

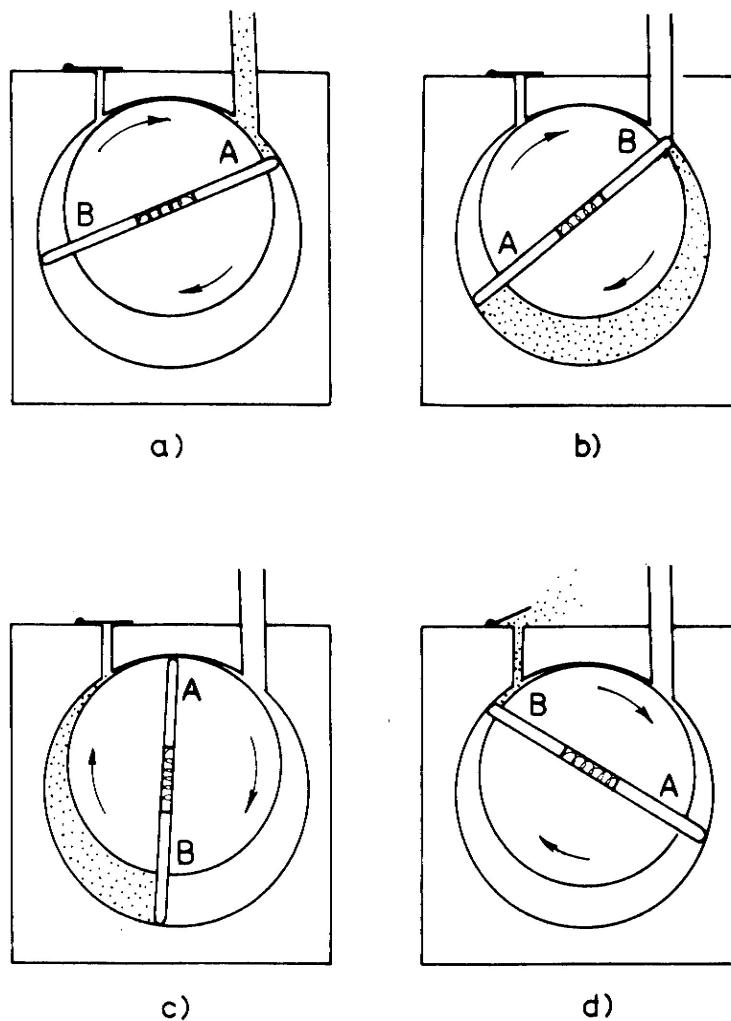


Fig. 6.6: Esquema de funcionamento de uma bomba de palhetas de um estágio. (Fig. 5.11 Roth pg 209)

entrada de gás, a câmara a ser evacuada é colocada em contacto com o volume limitado pelo estator, pelo selo superior, pelo rotor e pela própria palheta. Este volume aumenta à medida que a palheta avança, produzindo um abaixamento de pressão na câmara, que continua até que a palheta B passe pela entrada, quando então o gás neste volume é isolado entre as duas palhetas. À medida que a rotação continua, o gás isolado passa a ser comprimido pela palheta B, até atingir pressão suficiente (aproximadamente 850 torr) para abrir a válvula de saída e ir para a atmosfera. Uma vez que ambas as palhetas atuam sequencialmente, em uma rotação um volume igual ao dobro do mostrado na Fig. 6.6b é retirado da câmara pela bomba, ou seja, a velocidade de bombeamento deste tipo de bomba pode ser escrito: $S = 2 V n$, em que V é o volume entre as palhetas na posição da Fig. 6.6b e n é o número de rotações do motor por unidade de tempo.

Os contactos das palhetas e do rotor com o estator formam 3 câmaras separadas (veja Fig. 6.6d) que contém gás em diferentes pressões, e devem portanto serem estanques para vácuo (vacuum tight), principalmente o selo superior, que deve conter gás a pressão acima da atmosférica. Por essa razão, como já apontado acima, as superfícies interna do estator e externas do rotor e das palhetas devem ser cuidadosamente usinadas, e deve-se ter o máximo cuidado para evitar a presença de qualquer elemento abrasivo nestas superfícies, ou qualquer gás corrosivo nesta câmara interna.

Em princípio, a menor pressão que este tipo de bomba pode alcançar é determinado apenas pelo fato de que o gás é comprimido em um pequeno, mas finito, volume morto. Quando a pressão

do sistema evacuado fica tão baixa que na máxima compressão o gás não atinge a pressão necessária para abrir a válvula de saída, o gás fica retido no corpo da bomba, e subsequente bombeamento apenas re-expande e re-comprime o mesmo gás, sem mais abaixamento da pressão da câmara evacuada. A razão entre a pressão de exaustão e a pressão de entrada da bomba é chamada taxa de compressão da bomba. Para produzir pressões da ordem de 10^{-2} torr, deve-se ter bombas com taxas de compressão de 10^5 . Além de fornecer lubrificação e selamento, o óleo também serve para diminuir o volume morto, aumentando a taxa de compressão.

A mínima pressão obtida por uma bomba de palhetas rotativas de um estágio, medida por um medidor tipo McLeod (ver cap.VII) é da ordem de $5 \cdot 10^{-3}$ torr. Esta mesma pressão medida por um medidor tipo Pirani (ver cap. VII) dá valores da ordem de 10^{-2} torr. Esta discrepância jaz no princípio de medida dos dois medidores, evidentemente, e tem sua origem na pressão de vapor do óleo da bomba e nos produtos gasosos de sua decomposição.

A conexão em paralelo de dois sistemas rotor-estator dará duas vezes a velocidade de bombeamento, mas com a mesma pressão mínima. Por outro lado, a conexão em série de dois conjuntos rotor-estator (dois estágios de bombeamento) resulta em pressão mínima significativamente menor para o conjunto. A fig. 6.7 ilustra a curva de velocidade de bombeamento para um estágio e dois estágios.

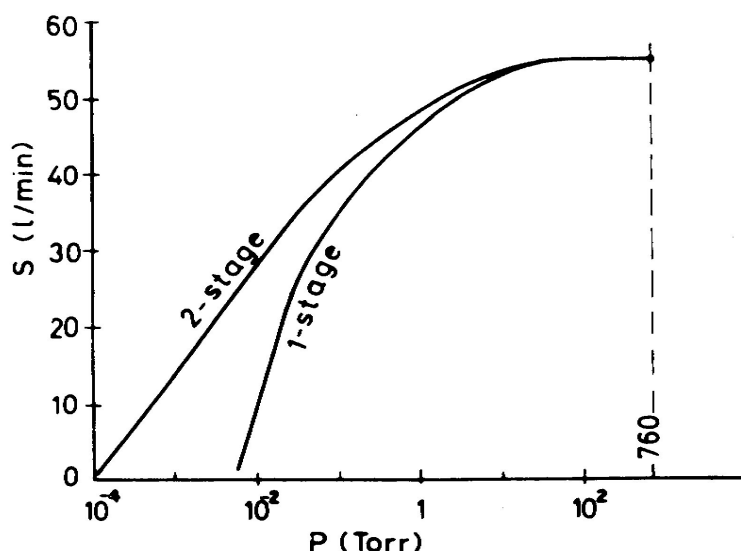


Fig. 6.7: Curvas de velocidades de bombeamento para bombas de palhetas rotativas de um e de dois estágios (Fig. 5.12 Roth, pg 210)

Vê-se que a bomba de duplo estágio pode alcançar pressão mínima da ordem de 10^{-4} torr (McLeod) ou $2 \cdot 10^{-3}$ torr (Pirani). Nota-se também que a velocidade de bombeamento é constante desde a pressão atmosférica até da ordem de 10 torr, quando começa a variar, chegando até zero para a mínima pressão da bomba.

Lastro de Gás (gas ballast)

Muitas vezes encontramos situações em que a bomba mecânica deve bombear vapores condensáveis junto com o ar da câmara. Em geral, trata-se de água, mas pode-se encontrar também solventes como acetona, éter, etc.. Em todos estes casos existe a possibilidade do vapor condensar durante o estágio de compressão da bomba, uma vez que, como já citado acima, estas bombas têm grandes taxas de compressão (10^5). A fig. 6.8a ilustra a situação do bombeamento de uma mistura de

ar-vapor sem o uso de lastro de gás.

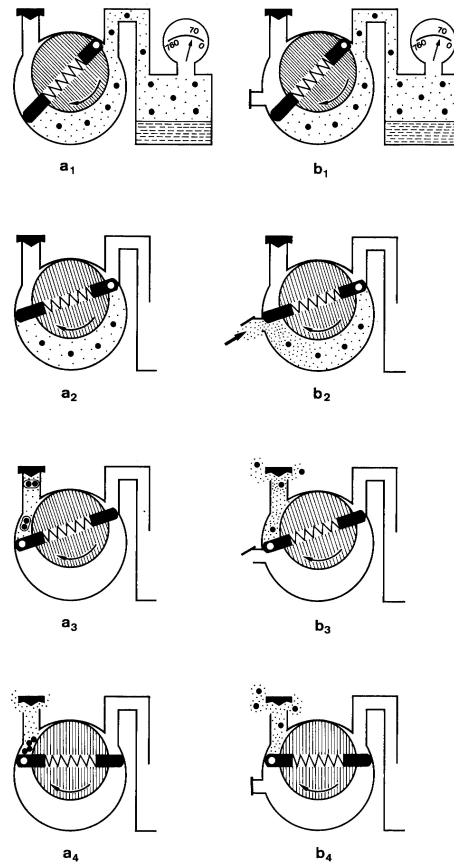


Fig. 6.8: Bombeamento sem (lado esquerdo) e com (lado direito) lastro de gás para bomba de palhetas rotativas (Fig. 11.1, cat. Leybold, pg 11)

Observa-se a condensação do vapor no estágio final de compressão. Quando isso acontece, a mistura ar-vapor pode não atingir a pressão de abertura da válvula de exaustão, e neste caso o líquido condensado pode se misturar ao óleo. Se o vapor for um solvente, esta mistura pode alterar profundamente as propriedades lubrificantes e selantes do óleo, levando a uma degradação da performance da bomba. Se o vapor for água, ela pode se emulsionar ao óleo, novamente levando a uma grande perda de performance, além de propiciar a corrosão das superfícies usinadas do rotor e do estator.

Em 1935 Gaede introduziu o dispositivo denominado de lastro de gás para prevenir a condensação de vapores no estágio de compressão (veja a Fig. 6.8b). Trata-se de uma válvula que se abre para a atmosfera após o volume da mistura ar-vapor ter sido isolada da câmara a ser evacuada, e que deixa entrar uma quantidade pré-determinada de ar (ou de um gás seco) na câmara. Esta quantidade de ar tem a função de reduzir a taxa de compressão da bomba a um nível que não permita a condensação do vapor. Em outras palavras, o ar que entra no volume isolado entre as palhetas abaixa a pressão parcial do vapor, de modo que, quando a mistura é comprimida, o vapor não atinge a pressão de saturação na temperatura de trabalho da bomba, e, portanto, não condensa, e é retirado da bomba junto com o ar.

O dispositivo do lastro de gás permite usar bombas de palhetas rotativas (e outras bombas

mecânicas) para bombear sistemas fortemente carregados com vapores condensáveis, como no caso de secagem de alimentos, por exemplo, sem estragar o óleo e a bomba. No entanto, a performance da bomba é diminuída com o uso do lastro de gás, pois a pressão mínima que a bomba pode atingir com ele é maior que sem ele. Por isso, em geral, para sistemas que contém pequena quantidade de vapores, usa-se o lastro de gás no estágio inicial de bombeamento, e fecha-se-o após este estágio inicial, de modo que a plena performance da bomba é usada no estágio final de bombeamento.

2) Bombas tipo Roots

Este tipo de bombas, também conhecido como sopradores Roots, têm ampla utilização na tecnologia de vácuo. Elas também podem ser consideradas um tipo de bombas secas, mas são descritas à parte devido a razões históricas e à sua importância para a tecnologia de vácuo. Elas são usadas em combinação com bombas de apoio (bombas de palhetas rotativas, de pistão rotativo, de anel líquido, etc.) e, quando de um estágio, estendem o intervalo de trabalho até a região de médio vácuo (até 10^{-3} torr). Usando-se bombas Roots de dois estágios, elas podem atingir o intervalo de alto vácuo (até 10^{-5} torr). O princípio de funcionamento das bombas Roots permite a construção de sistemas de bombeamento de altíssimas velocidades de bombeamento, até 100.000 m³/h, que são mais econômicos que, por exemplo, bombas ejetoras de vapor para trabalho no mesmo intervalo de pressões. A Fig. 6.9 ilustra um corte transversal de uma bomba tipo Roots.

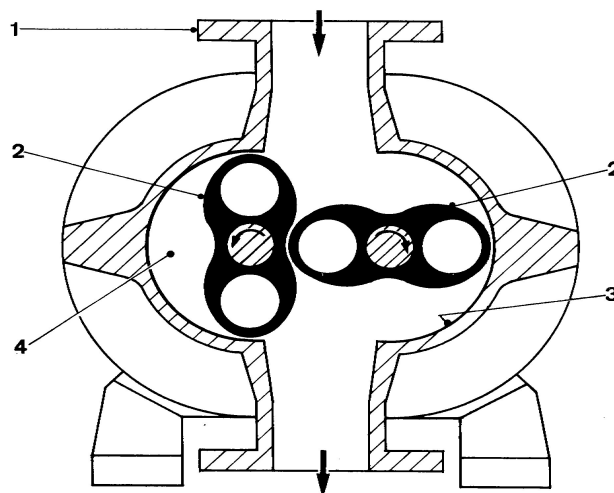


Fig. 6.9: esquema de uma bomba Roots (Fig. 13.1 manual Leybold, pg 13)

Uma bomba Roots é uma bomba rotativa de deslocamento positivo na qual dois rotores simétricos em forma de 8 giram em direções opostas dentro de um estator (Fig. 6.9). Os rotores são usinados como uma engrenagem de dois dentes, e por isso guardam sempre a mesma separação entre si, qualquer que seja a sua posição angular, e guardam também uma distância constante em relação ao estator. Ou seja, as partes da bomba Roots movem-se sem qualquer contacto entre si, e por isso podem ser acionadas sem lubrificação. Os seus movimentos são sincronizados externamente por um conjunto de engrenagens (que são lubrificadas) movimentadas por um motor. Em geral, a distância entre as partes é da ordem de 0,1 mm. Por isso estas bombas podem funcionar com grandes velocidades de rotação, o que permite as grandes velocidades de bombeamento que são típicas de conjuntos contendo bombas Roots. Também por essa razão, estas bombas praticamente não se desgastam, sendo bastante insensíveis à presença de pós. A Fig. 6.10 ilustra o funcionamento de uma bomba Roots.

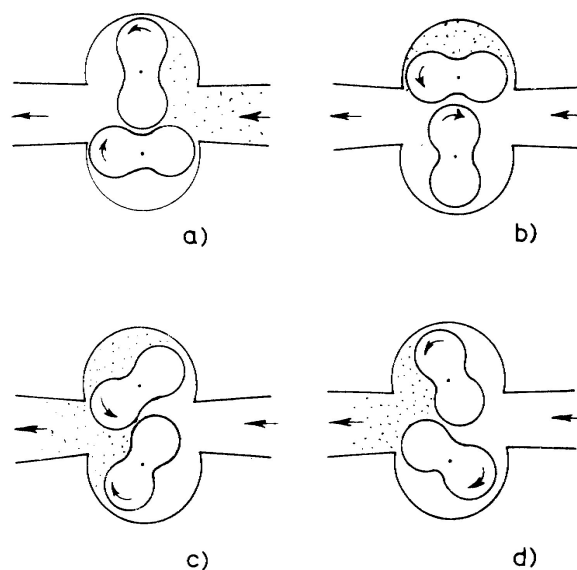


Fig. 6.10: Ação de uma bomba Roots (Fig. 5.20 Roth, pg. 216)

Por outro lado, por não terem um selo de óleo, elas apresentam o problema de retro-migração (ou retro-difusão), que é significativo em pressões relativamente altas, tornando-se menos importante na região de baixas pressões. Este efeito limita a taxa de compressão efetiva deste tipo de bomba, e por essa razão elas sempre trabalham associadas a uma bomba de apoio, como já mencionado acima. Dependendo da separação entre rotores e entre estes e o estator, a taxa de compressão atinge um máximo para uma pressão de saída (pressão de apoio) no intervalo de $4 \cdot 10^{-1}$ a 2 torr, e, para pressões mais baixas, decai muito devido ao fenômeno de retro-migração. A fig. 6.11 ilustra uma típica curva de velocidade de bombeamento em função da pressão para uma bomba Roots.

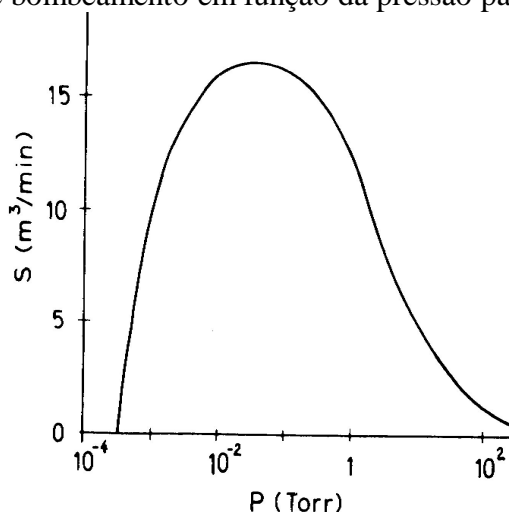


Fig. 6.11: Curva de velocidades de bombeamento para uma bomba Roots. (Fig. 5.21 Roth, pg 217)

Em pressões altas, a taxa de compressão atinge valores máximos da ordem de 3:1. A aproximadamente 1 torr, uma bomba Roots de um estágio pode atingir taxas de compressão da ordem de, ou maiores que, 50:1. Isto significa que as bombas Roots têm um comportamento bastante distinto das demais bombas, tendo uma taxa de compressão variável e dependente tanto da pressão de entrada quanto da pressão da bomba de apoio. No caso das bombas com selo de óleo, elas comprimem o gás até a pressão atmosférica independentemente da pressão da entrada, e as

bombas de vapor comprimem fazem o mesmo até uma pressão de exaustão fixa abaixo da atmosférica.

3) Bombas Secas

3.1) Bombas tipo Língua-Cavidade ("Tongue and Groove")

Bomba de princípio similar ao das bombas Roots, com formato diferente dos lobos (lobos assimétricos), que no caso presente, um deles tem duas saliências arredondadas (línguas) que se encaixam em cavidades rasas no segundo lobo, como ilustrado pela Fig. 6.12.

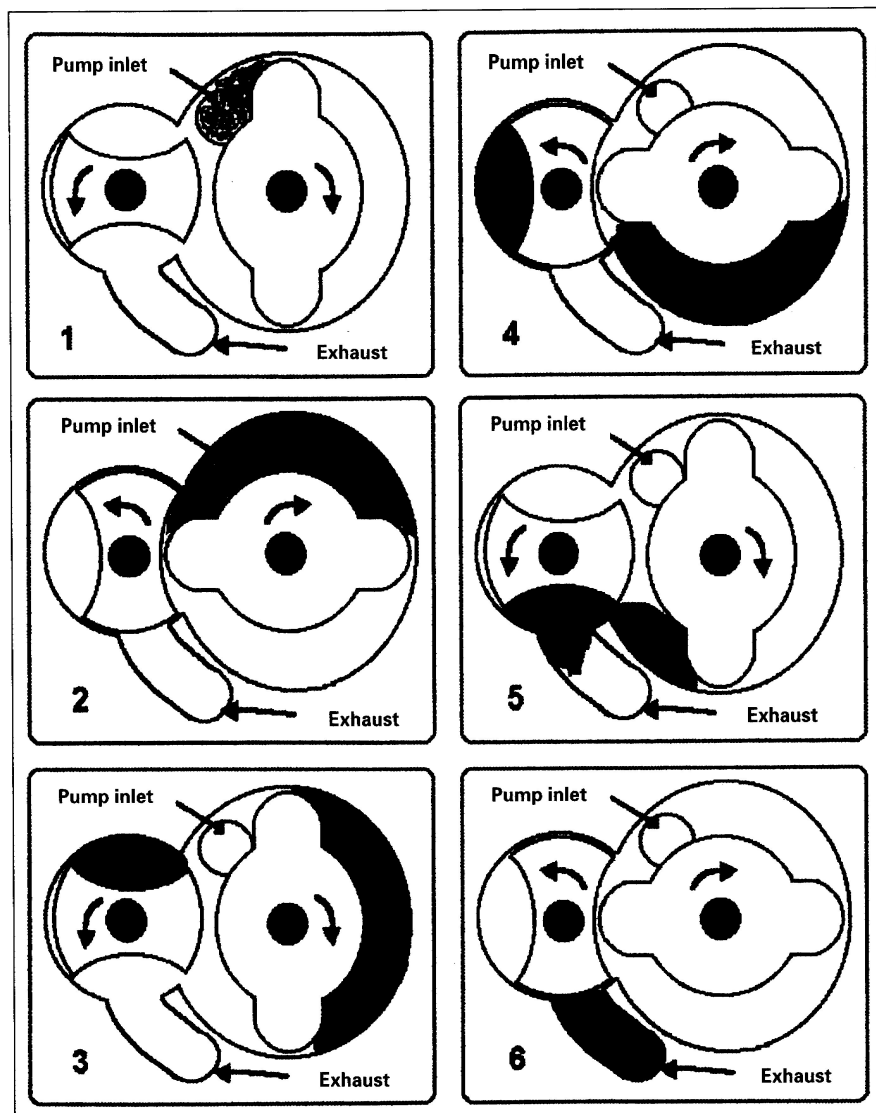


Fig. 6.12: Esquema de funcionamento de bomba tipo "Tongue and Groove" (Fig. Pg F4 catálogo Pfeiffer 2000)

Esta figura ilustra também o funcionamento deste tipo de bomba. Notamos que, como no caso das bombas Roots, os lobos giram em sentidos opostos e mantêm sempre uma distância entre si e entre eles e o estator, e seus movimentos são sincronizados por engrenagens externas. Para este tipo de

bomba, apenas o lobo com línguas comprime o gás, enquanto o lobo com as cavidades rasas arrasta o gás para a saída, havendo um intervalo em que o gás varrido por este último lobo mistura-se com o gás que é comprimido pelo lobo com línguas (estágio 4 e 5 da Fig. 6.12). Estas bombas podem atingir altas velocidades de bombeamento (até 50 m³/h), com altas velocidades de rotação (3600 rpm), e alcançando pressões mínimas de até 5.10⁻² mbar). Podem ser combinadas com bombas tipo Roots, atingindo pressões significativamente mais baixas e velocidades de bombeamento significativamente mais altas.

3.3) Bombas de Engrenagens tipo Garras (Claws)

É uma bomba bastante similar à anterior, que apresenta os lobos simétricos em formato que lembra uma garra, como ilustrado pela Fig. 6.13.

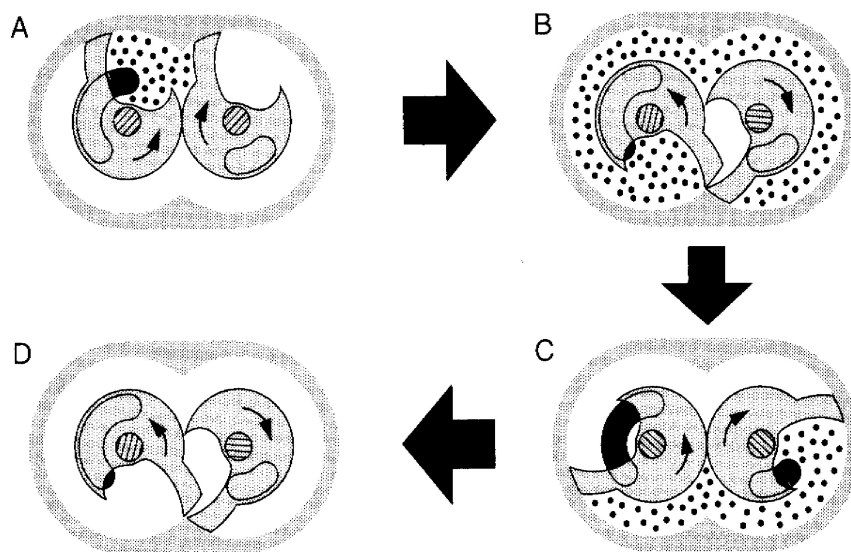


Fig. 6.13: Esquema de funcionamento de bomba de engrenagens tipo garras (fig. Pg 44 catálogo Edwards 98/99)

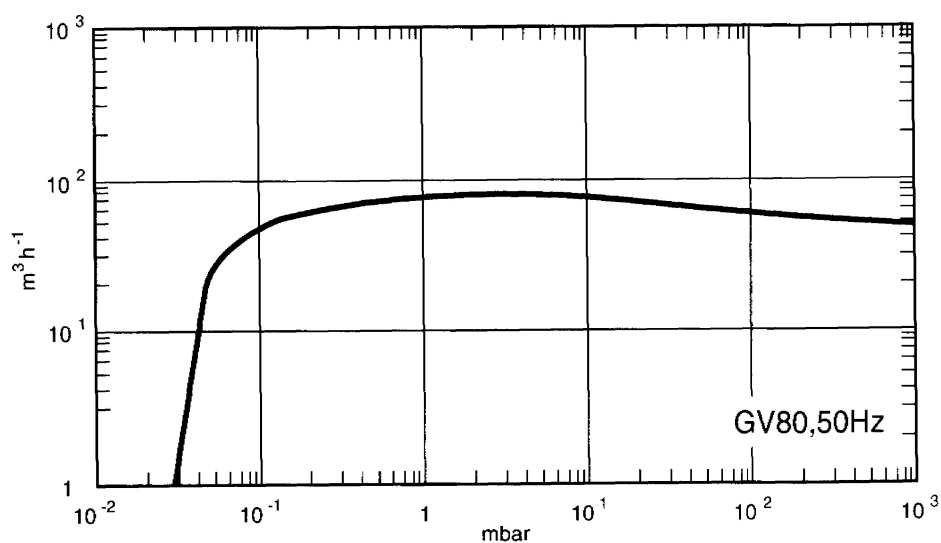


Fig. 6.14: Velocidade de Bombeamento de bomba de garras com velocidade nominal de 80 m³/h

(gráfico pg 46 catálogo Edwards 98/99)

Como anteriormente, os lobos giram em sentidos opostos e são acionados por engrenagens externas à bomba. Em uma determinada posição dos lobos a entrada do sistema a ser bombeado é exposta à câmara formada pelos lobos (Fig. 6.13A), o gás preenche essa câmara, é então isolado e comprimido pelo movimento dos lobos (Fig. 6.12 B e C), e finalmente a saída é exposta e o gás é expelido para a atmosfera (Fig. 6.13 D). Estas bombas podem ter velocidades no intervalo de 90 a 540 m³/h, atingindo pressões mínimas da ordem de $8 \cdot 10^{-2}$ torr. A Fig. 6.14 mostra o gráfico da velocidade de bombeamento de uma bomba deste tipo com velocidade nominal de bombeamento de 80 m³/h.

Estas bombas, tais como as anteriores, podem ser combinadas com as bombas tipo Roots para obter pressões mínimas mais baixas e velocidades de bombeamento significativamente mais elevadas.

3.3) Bombas tipo Diafragma (ou Membrana)

É um tipo de bomba seca em que o sistema a ser bombeado é isolado da bomba por uma membrana ou diafragma elástico, e que, portanto, também é o elemento que promove a expansão e compressão necessários para deslocar o ar do sistema para a atmosfera.

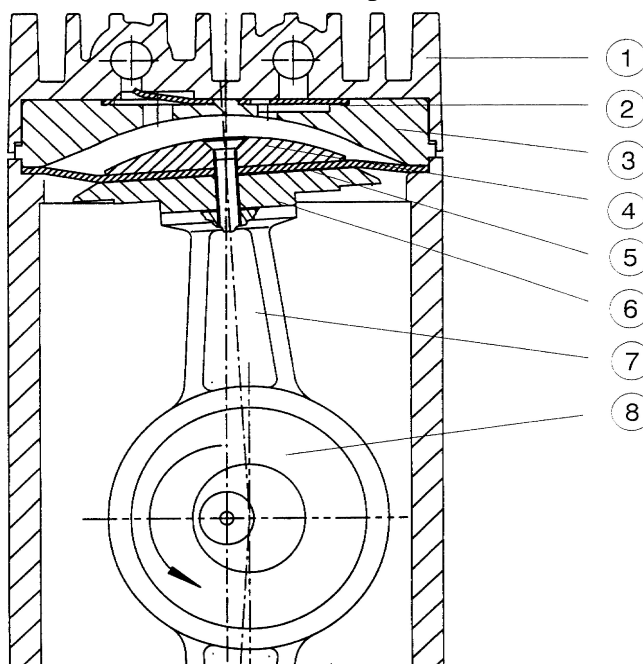


Fig. 6.15: Bomba de Membrana (fig. da apostila do curso de vácuo)

O diafragma é acionado de modo recíproco por um motor. A Fig. 6.15 ilustra o princípio de funcionamento, e a Fig. 6.16 dá as velocidades de bombeamento para dois modelos deste tipo de bombas.

Embora a pressão mínima atingida por estas bombas esteja no intervalo de baixo vácuo (de centenas de torr até $5 \cdot 10^{-1}$ torr), as bombas que alcançam as menores pressões podem servir de bombas de apoio para bombas turbomoleculares que possam iniciar sua operação em pressões de entrada relativamente altas. Tais arranjos formam conjuntos de bombas totalmente secas em todo o intervalo de bombeamento. Por outro lado, bombas cujas mínimas pressões estão no intervalo de centenas de torr têm muitas aplicações industriais, tais como em processos de evaporação, de secagem de alimentos ou outros itens, filtração a vácuo, impregnação, etc..

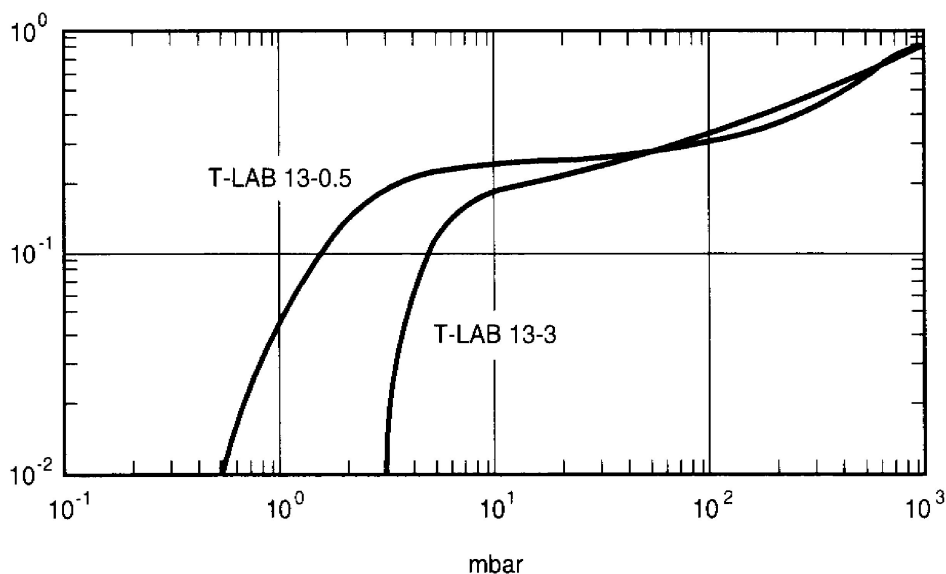


Fig. 6.16. Velocidades de bombeamento para bombas de diafragma (Fig. Pg 27 catálogo Edwards 98/99)

3.4) Bomba Seca de Rolos ("Scroll")

Este tipo de bomba utiliza cilindros fixos e outros com movimento orbital, que se movimentam sem contacto, para formar bolsões de ar de formato em crescente que são continuamente comprimidos pelo movimento orbital até serem expelidos para a atmosfera. Podem ter velocidades de bombeamento até 30 m³/h, atingindo pressões mínimas da ordem de 1.10⁻² mbar. A Fig. 6.17 mostra o gráfico de velocidades de bombeamento versus pressão para uma bomba com capacidade nominal de 15 m³/h.

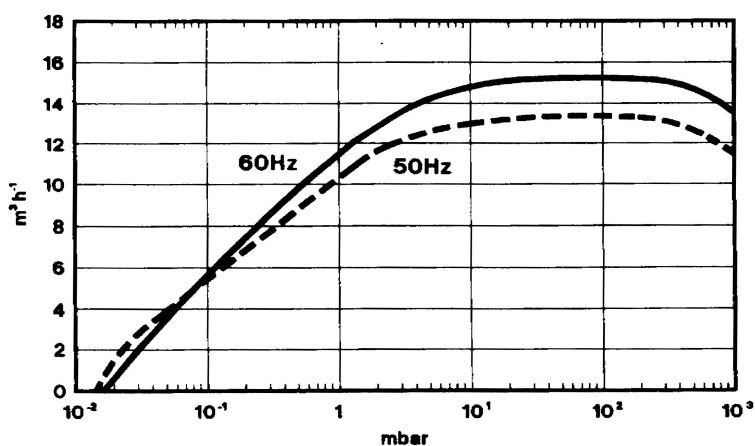


Fig. 6.17: Velocidade de bombeamento para bomba de rolos de velocidade nominal de 15 m³/h. (Fig. Pag 25 catálogo Edwards 98/99)

Este tipo de bombas podem ser usadas como bombas de apoio para bombas turbomoleculares, para detectores de vazamentos e outras aplicações que requeiram vácuo limpo na sua faixa de pressões de trabalho, que é médio vácuo.