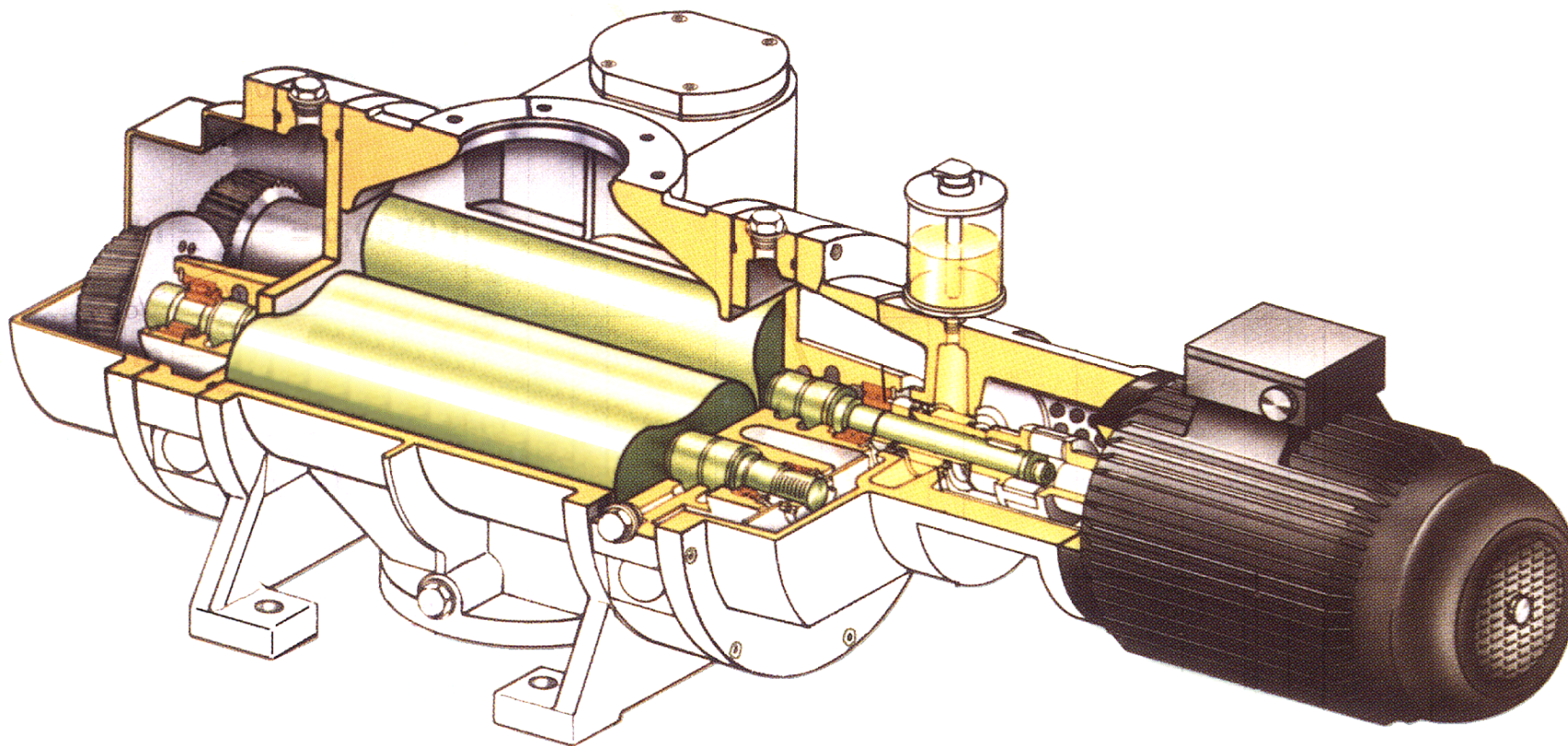


Tecnologia de vácuo



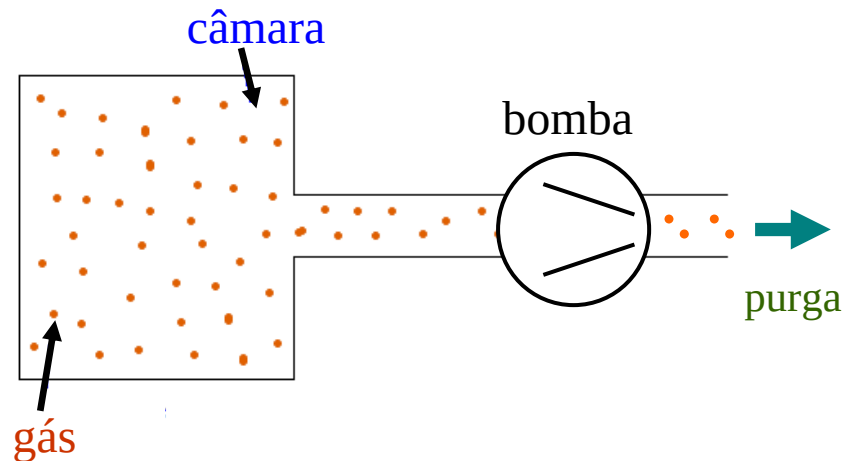
PARTE II: Geração de vácuo.

Bombas de Vácuo

Podemos dizer que as bombas são os elementos ativos responsáveis pelo transporte do gás de um ambiente fechado (vazo ou câmara) para o meio externo (meio ambiente).

Elas podem ser classificadas de maneira rudimentar de acordo com o princípio básico de operação:

- **Bombas de compressão ou rotatórias:** mecânicas, roots, membranas,
- **Bombas de transferência de momentum:** turbos, difusoras,
- **Bombas de adsorção:** criogenicas, iônicas,



Em todos os casos, o objetivo final é sempre retirar o “gás livre” de um recinto !!!!

Bombas de Compressão

De uma maneira geral, a operação das chamadas bombas de compressão (comumente chamadas de rotatórias, mecânicas ou de pré-vácuo) consiste em tomar uma amostra do gás presente no interior da câmara, comprimir este gás e expulsá-lo para o exterior.

Tal categoria de bomba opera no regime de fluxo viscoso, onde é possível criar um fluxo via a criação de uma diferença (ou gradiente) de pressão, sendo eficientes até a faixa de $10^{-3} - 10^{-4}$ mbar.

Os exemplos mais típicos desta categoria de bombas são:

- **Bombas rotatórias de palheta,**
- **Bombas rotatórias de pistão,**
- **Bombas roots e**
- **Bombas de membrana.**

Bomba rotatória de palheta



1.



2.



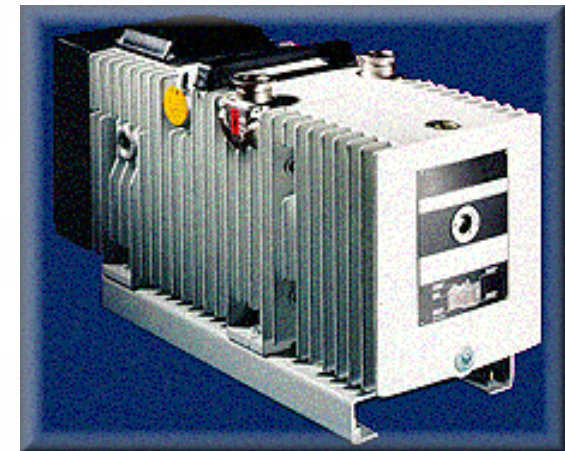
3.



4.

1. amostragem,
- 2-3. compressão e
4. expulsão

.... em óleo!

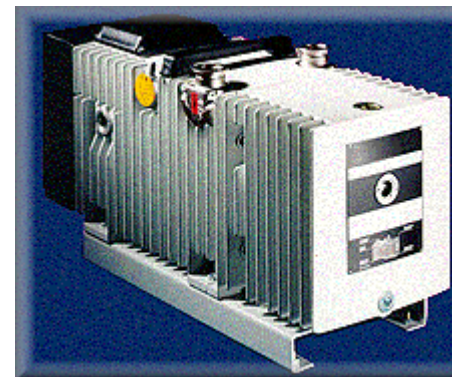
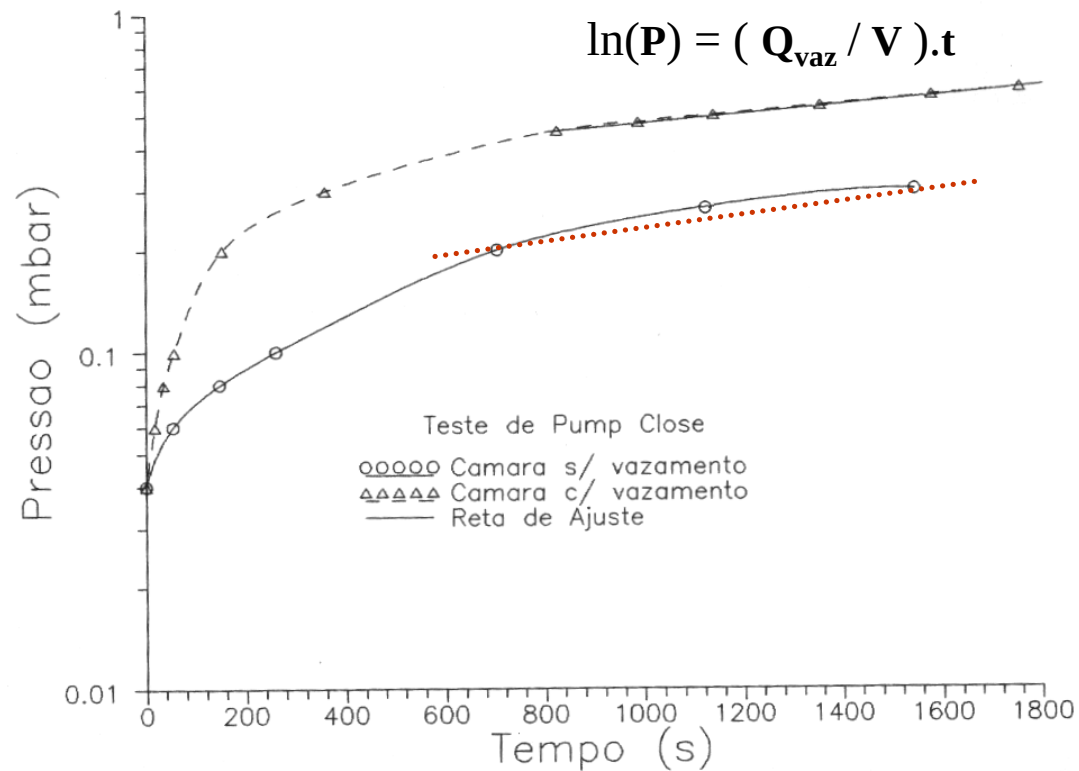
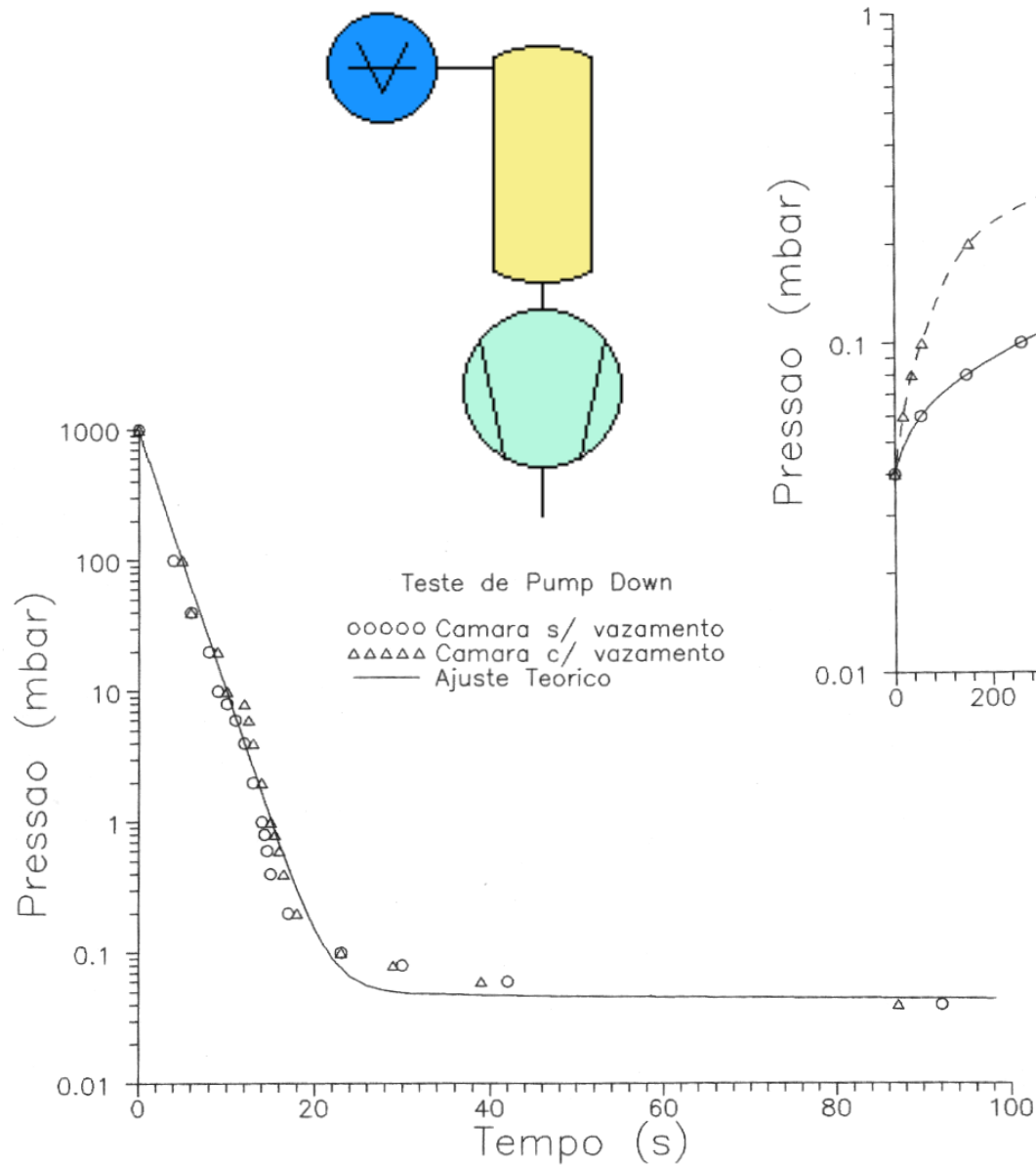


Este é também o princípio de operação das **bombas de pistão** !

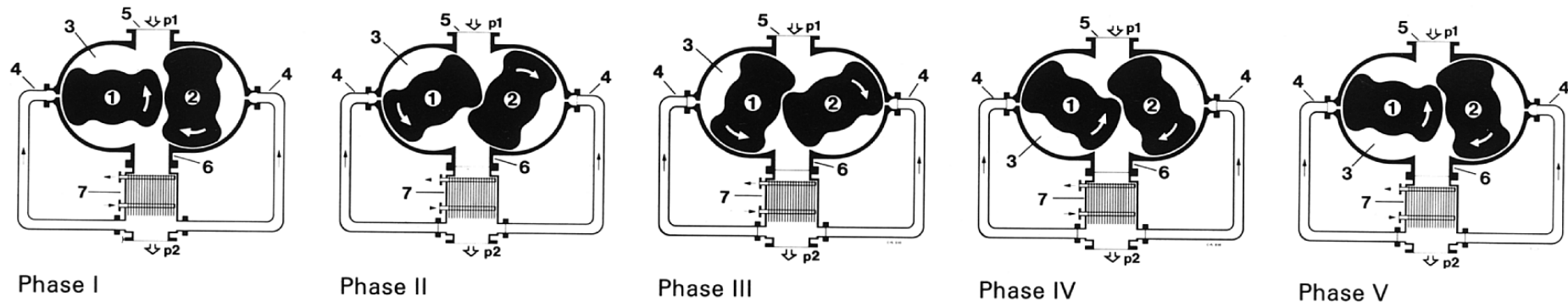
.... também em óleo!

Um exemplo com uma bomba rotatória de palheta

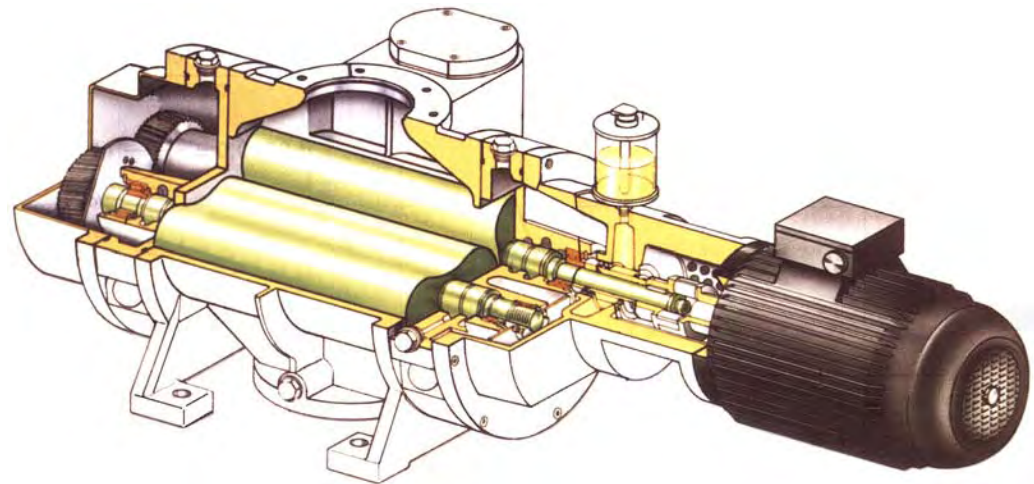
Câmara em ANSI 304 NL com $V \approx 2.1$ litros



Bomba roots



- Phase I
Space 3 is connected to intake port 5 and sucks in gas at a pressure of P_1 when the rotors 1 and 2 turn.
- Phase II
Space 3 is sealed off from both intake port 5 and from cold gas inlet 4.
- Phase III
Cold gas streams into space 3 via the cold gas circulation until counter pressure P_2 is attained.
- Phase IV
Space 3 is closed to both cold gas inlet 4 and discharge port 6.
- Phase V
Space 3 is connected to discharge port 6 and the sucked-in gas mixture from intake port 5 and cold gas inlet 4 is expelled. Behind cooler 7 some of the gas, representing the gas volume sucked in at intake port 5, streams into the next pump in the series (or is released).



.... em Óleo!
 grandes vazões
 muitas vezes sua saída é ligada em serie com uma rotatória de palheta ou pistão

Bomba de membranas - sem Óleo!



→ O princípio é bastante similar as bombas rotatórias de pistão sendo o pistão substituído por uma membrana de borracha, algo similar a uma seringa hipodérmica.

- Contudo tais bombas atingem pressões na faixa de $10^{-1} - 10^{-2}$ mbar, somente!
- Possuem fácil manutenção, porem com grande frequência!



Bombas de Transferência de Momentum

De uma maneira geral, a operação de tais bombas consiste em transferir momentum linear para as moléculas gás presentes no interior da câmara, expulsando as mesmas para fora da câmara.

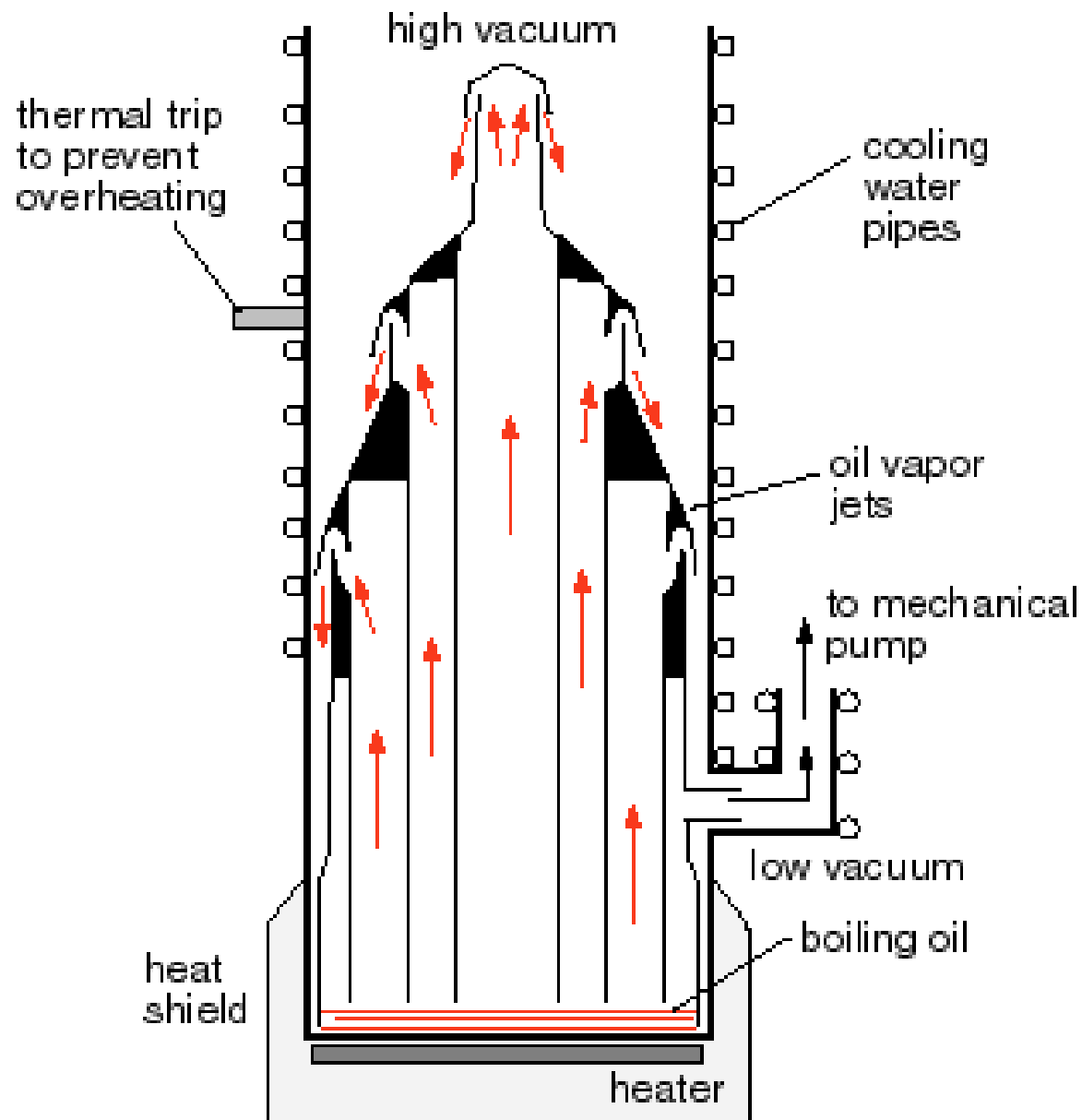
Tal categoria de bombas opera no regime de fluxo molecular, onde não é mais possível criar um fluxo de gás via um gradiente de pressão. Elas operam tipicamente na faixa de $10^{-4} - 10^{-8}$ mbar.

São usadas em serie com bombas de compressão, que são ligadas na saída delas. Tais bombas de compressão são responsáveis pela compressão do gás e exaustão final para o meio exterior.

Os exemplos mais típicos são:

- **Bombas difusoras,**
- **Bombas turbo moleculares e**
- **Bombas turbo/drag.**

Bomba difusora (Irving Langmuir 1915)

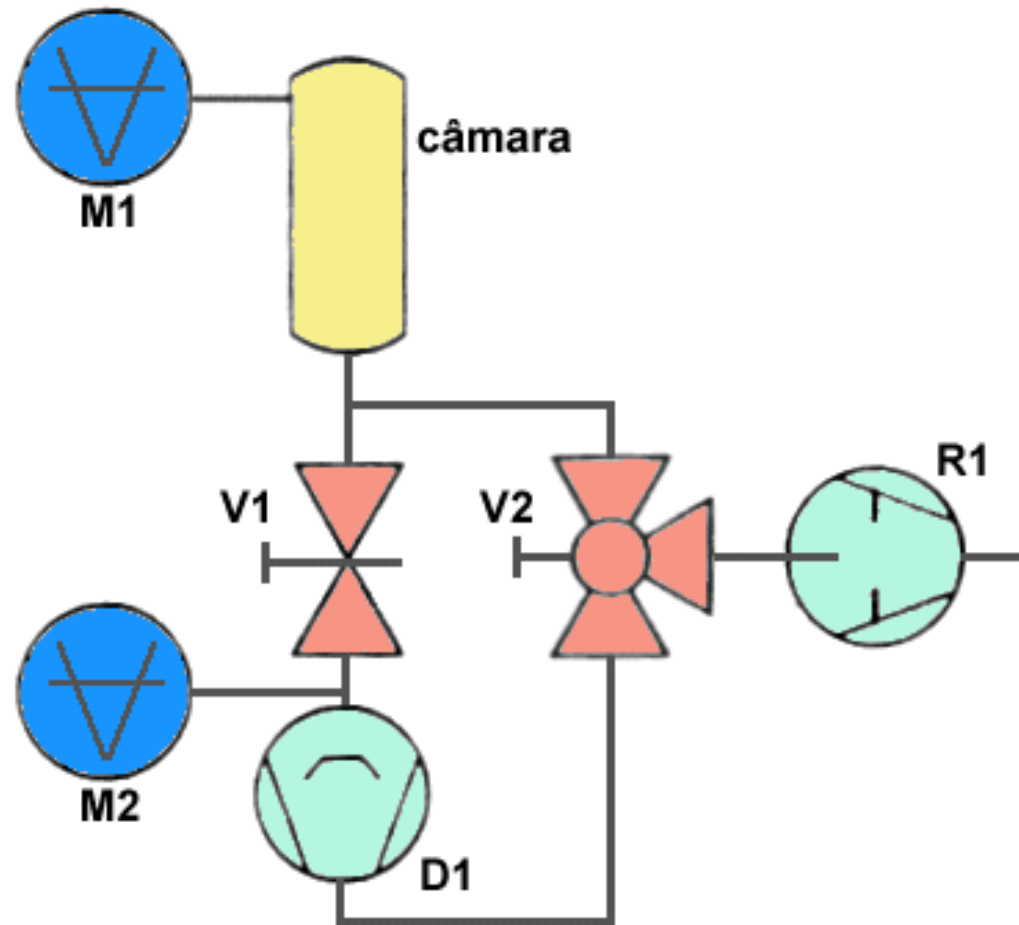


- Muito usadas na industria.
- Grande vazão.
- Com exceção da eventual queima do óleo, são extremamente robustas.
- Fácil construção e manutenção (lavagem).
- Contudo, possuem óleo!



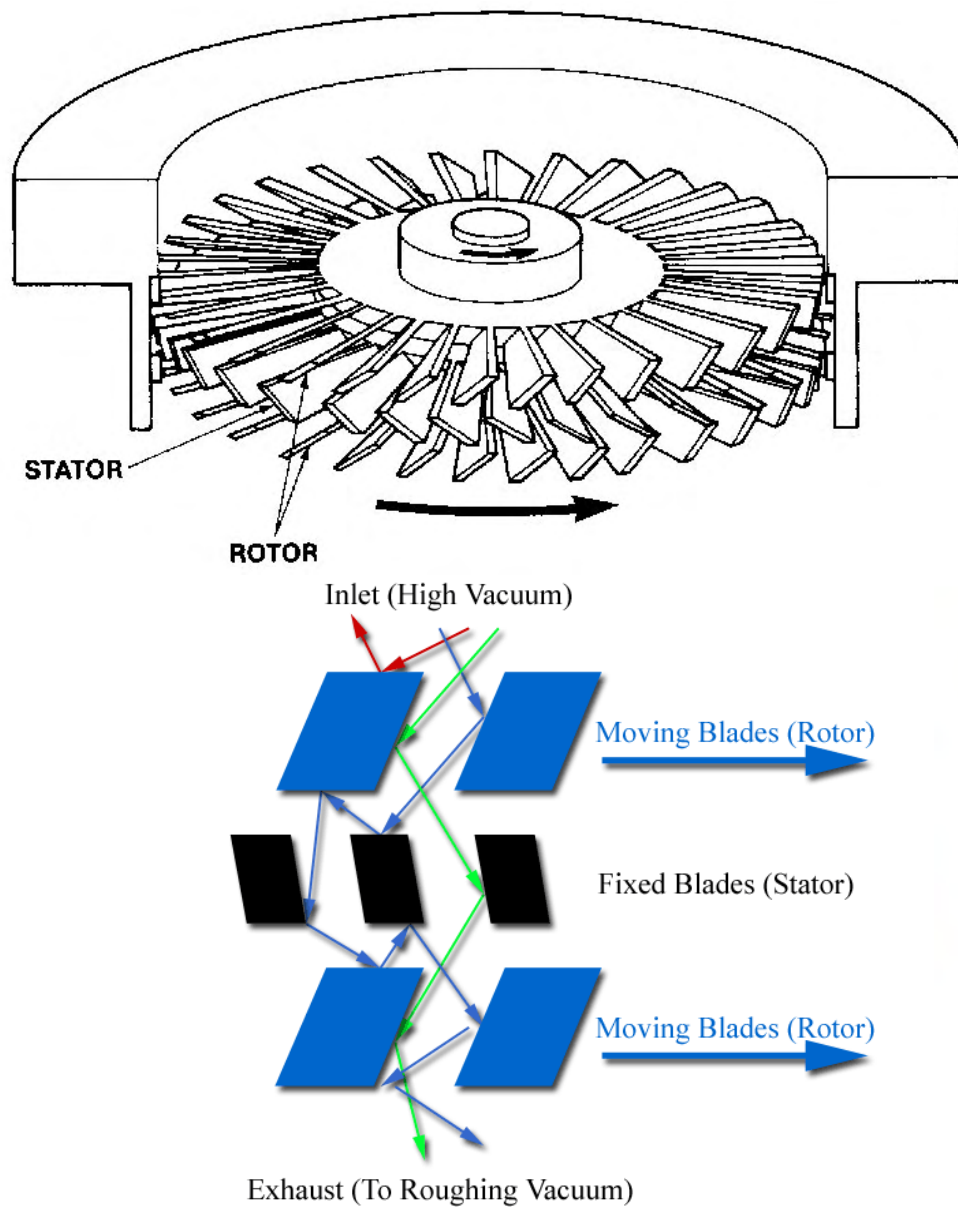
A operação de uma bomba difusora consiste basicamente de 3 etapas sequenciais.

- (1) Com a válvula gaveta V1 fechada e a válvula de bypass V2 comutada para a saída da bomba difusora, a bomba de pré-vácuo R1 (no presente caso uma rotatória de palhetas) faz vácuo dentro da difusora D1 que está desligada.
- (2) Após atingir uma pressão da ordem de 10^{-3} mbar, a bomba difusora é ligada. A válvula V1 permanece fechada e a válvula V2 é comutada para bombear a câmara.
- (3) Após a câmara atingir uma pressão da ordem de 10^{-3} mbar, V2 é comutada para a saída da difusora e V1 é aberta, iniciando o bombeamento efetivo da câmara, até atingir pressões na faixa de 10^{-6} - 10^{-7} mbar.



É bastante usual a inclusão de uma armadilha criogenica (trap - LN_2) entre a bomba D1 e a válvula V1. Isto tem como objetivo reduzir a contaminação da câmara pelo contra fluxo (refluxo) de óleo da difusora. Tal trap é enchido com LN_2 antes da válvula V1 ser aberta, ou seja, entre os passos 2 e 3.

Bomba turbo molecular / drag



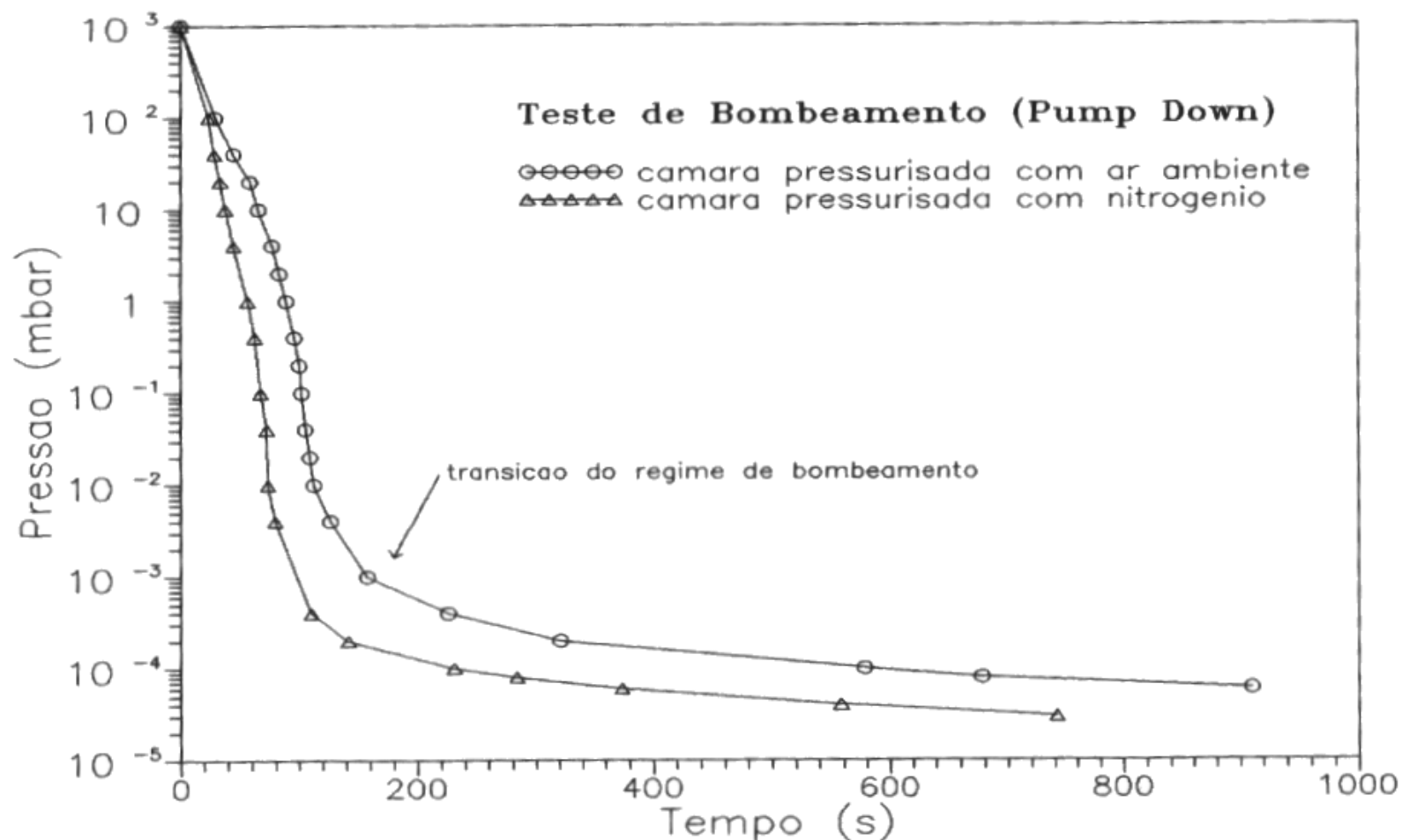
Contudo, tais bombas são bastante sensíveis, sendo sua manutenção mais complicada (a manutenção básica é simples).



Em sistemas sem óleo T1 é substituída por uma turbodrag e R1 por uma bomba de membrana.

Um exemplo com uma bomba turbo

- câmara em ANSI 304 NL com $V \approx 28.4$ litros
- sistema de bombeamento turbo-molecular TPH-330 + bomba mecânica.



Bombas de Adsorção

De uma maneira geral, a operação de tais bombas consiste em aprisionar as moléculas do gás residual presentes na câmara.

Tal categoria de bombas opera no regime de fluxo molecular, onde não é mais possível criar um fluxo de gás via um gradiente de pressão. Elas operam tipicamente na faixa de $10^{-6} - 10^{-12}$ mbar, necessitando de um sistema auxiliar (tipicamente turbos).

O grande inconveniente deste tipo de bomba é a necessidade de uma regeneração periódica.

Os exemplos mais típicos são:

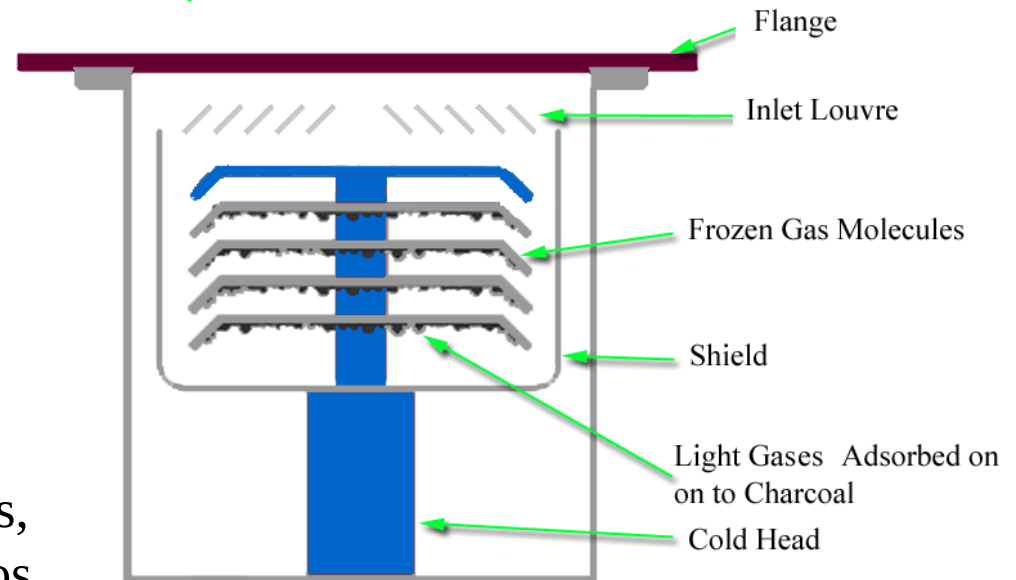
- Bombas criogenicas e
- Bombas iônicas.

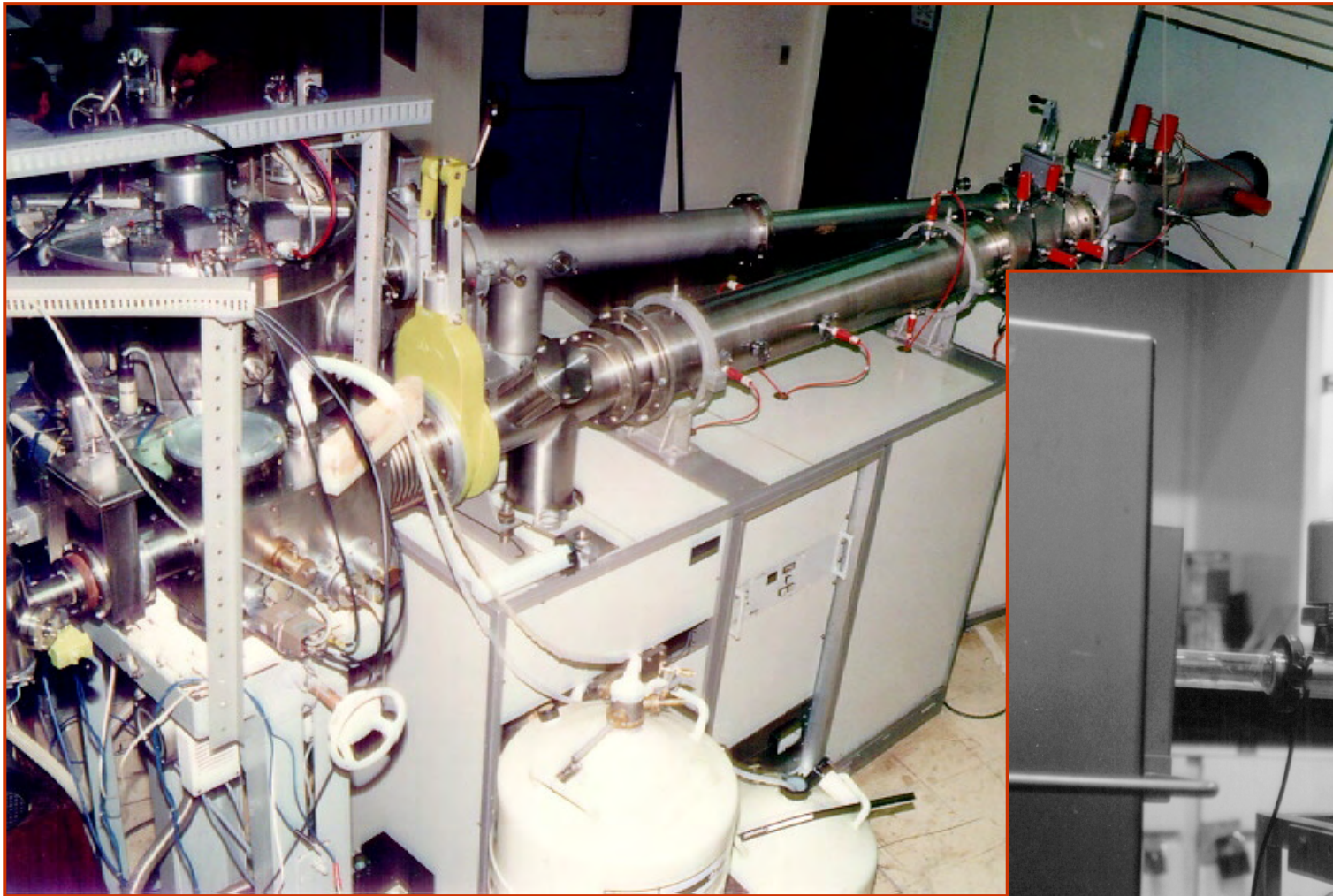
Bombas e armadilhas criogenicas

A idéia básica desta categoria de bombas é aprisionar as moléculas do gás residual em uma superfície mantida em baixas temperaturas, tipicamente 77 K (LN_2) ou 4 K (LHe)

Podem ser facilmente regeneradas e dificilmente sofrem danos devido a erros operacionais. Contudo, podem saturar muito rapidamente se o vácuo de base for “ruim”!

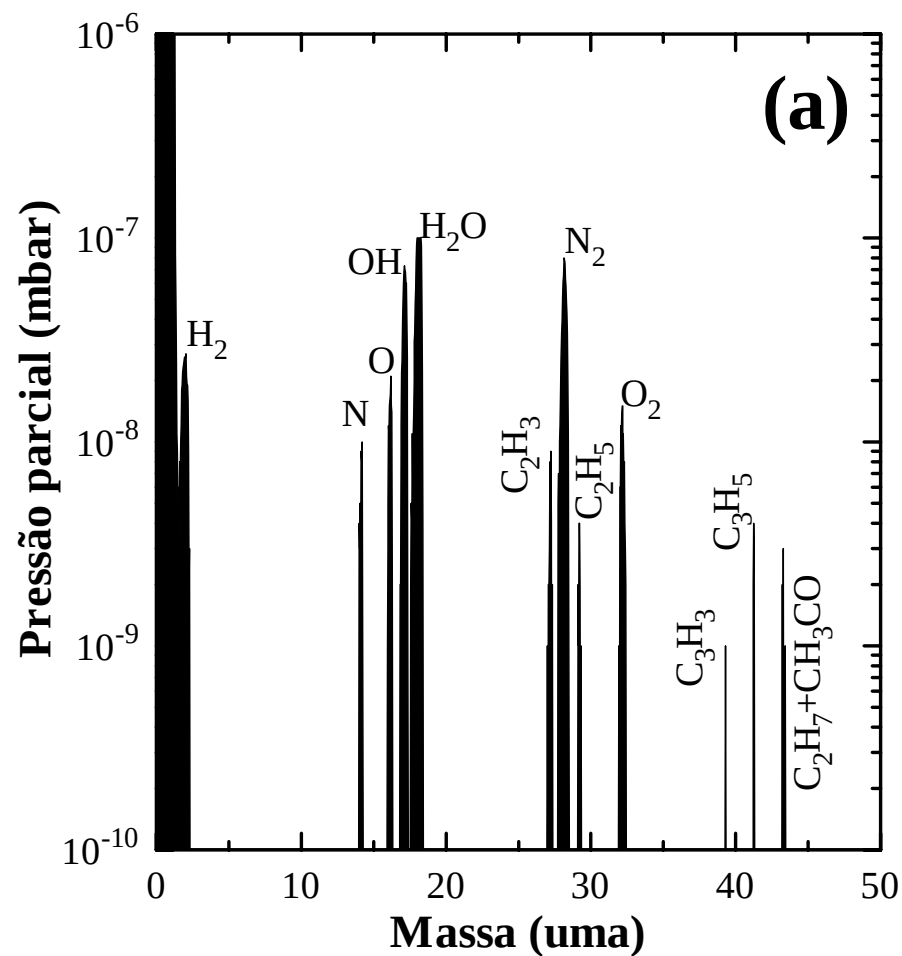
TRAPS: São amplamente empregados, principalmente em sistemas bombeados por difusoras. Consistem basicamente em um reservatório de LN_2 de formato toroidal (trap de passagem ou “chevron”) ou cilíndricos (dedo frio). Existem ainda traps de circulação de LN_2 (Meissner) que são basicamente constituídos por uma serpentina.



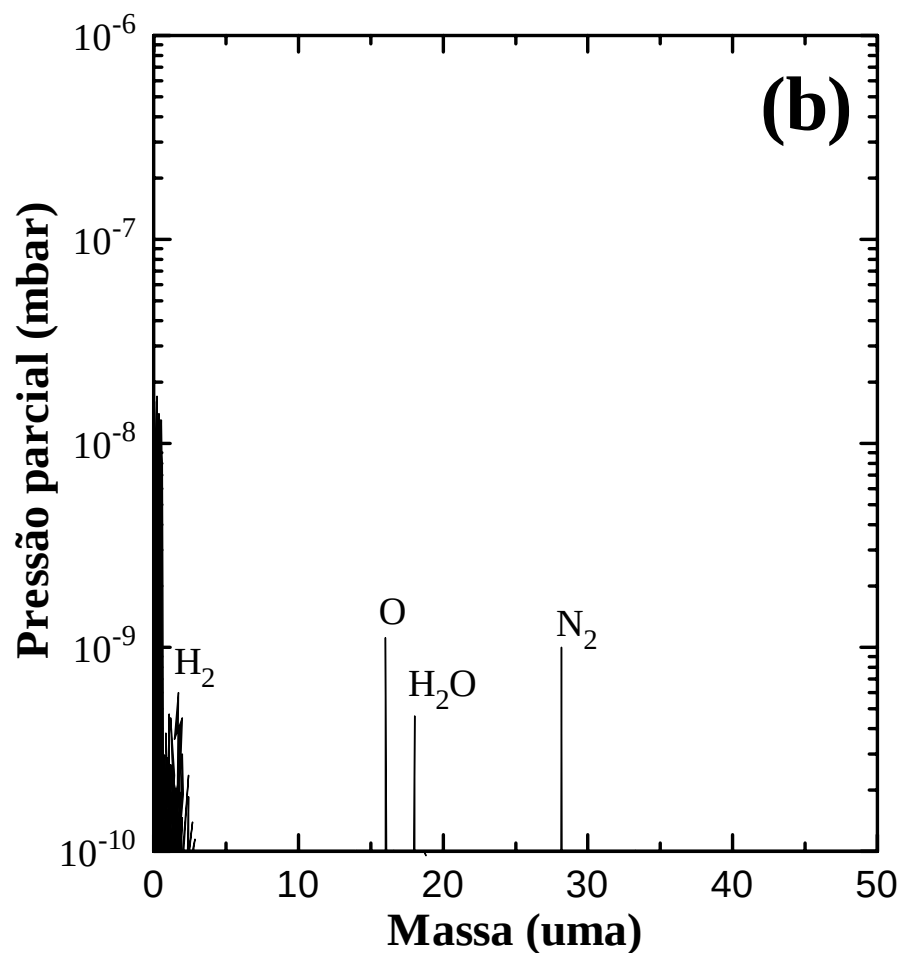


Alguns exemplos práticos

Analises RGA do exemplo anterior (turbo)



sem trap
 $P \approx 4 \times 10^{-7}$ mbar

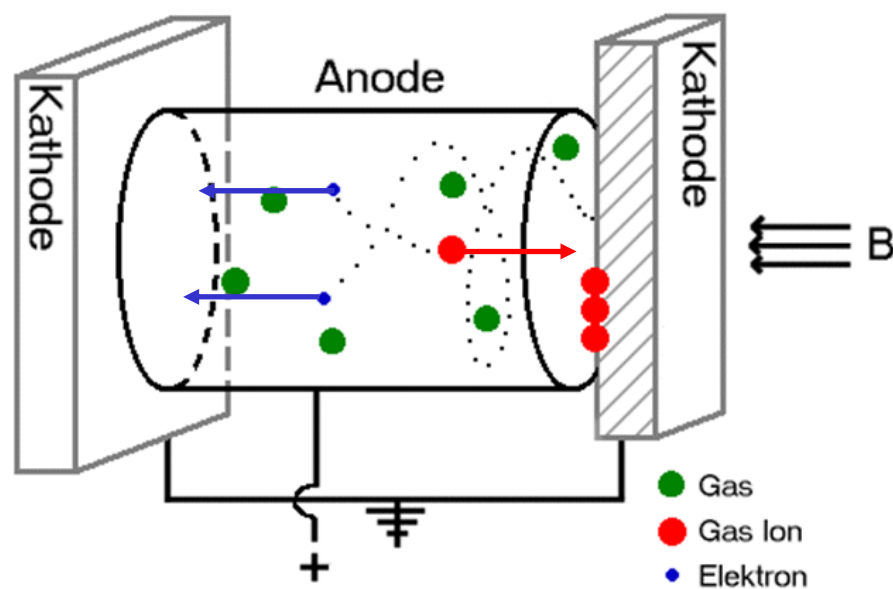


com trap LN_2
 $P \approx 4 \times 10^{-8}$ mbar

Bombas iônicas

Existem em diversas configurações.

Ao contrario das bombas criogenicas, podem sofrer danos se a qualidade do vácuo cair repentinamente.



Referencias

- A user's guide to vacuum technology, John F. O'Halon, ed. John Willey & Sons (1980).
- Modern vacuum practice, ed. Edwards Vacuum.
- The generation of rough and medium vacuum, ed. Pfeiffer Vacuum.
- Working with turbo molecular pumps, ed. Pfeiffer Vacuum.
- Vacuum technology, ed. Leybold Vacuum