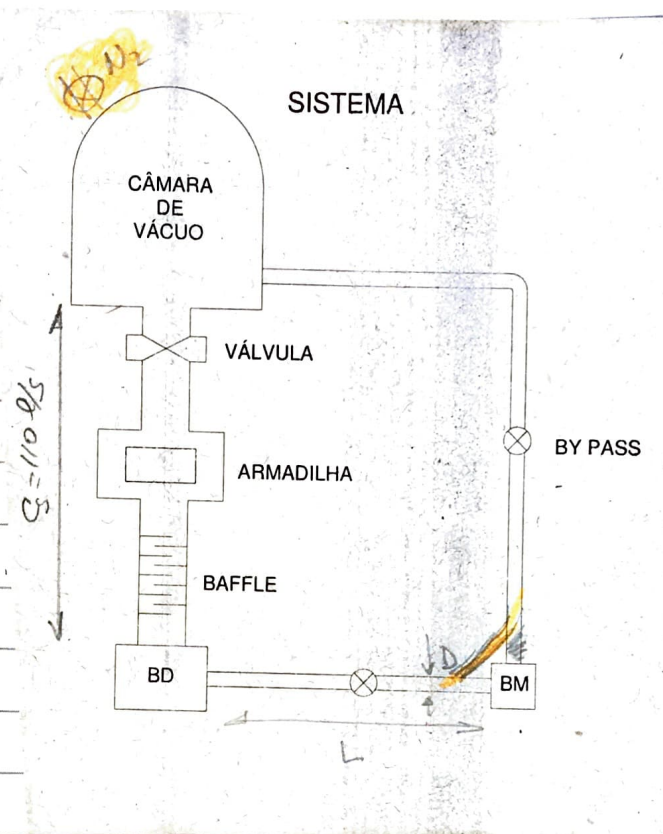


Exemplo I



Câmara $D=100\text{cm}$ tem que ser operada em pressão $\sim 6 \times 10^{-7}$ Torr após 24 horas de bombeamento.
Sistema todo de metal.

De vez em quando N_2 é injetado até a pressão do sistema atingir $P=10^{-3}$ Torr, sem estrangular o sistema.

Pressão para o início de operação da bomba difusora.
 $P_F \sim 2 \times 10^{-1}$ Torr.

Converto que a condutância entre a entrada da BD e a entrada da câmara seja $C_s \equiv 110 \text{ l/s}$

Exercício: Determinar S_{BD} e S_{BM}

e elaborar hipóteses adicionais, se necessário.

(A) Cálculo sem injeção de gás N_2 (gas load)

Área da câmara

$$A = 4\pi R^2 = 4\pi (50)^2 = 31416 \text{ cm}^2$$

Volume da câmara $V = \frac{4}{3}\pi R^3 = 523599 \text{ cm}^3 = 524 \text{ l}$

Supondo que não existam vazamentos (real ou virtual) na pressão de trabalho descede $P_{res} \approx 6 \times 10^{-7} \text{ Torr}$ a desgasificação (desorção térmica) é da ordem de $10^{-9} \frac{\text{Torr l}}{\text{s cm}^2}$, para metal após algumas horas de bombeamento. (sem aquecimento)

$$Q_{deg} \sim 10^{-9} \left(\frac{\text{Torr l}}{\text{s cm}^2} \right) \times (31400 \text{ cm}^2) \approx 3 \times 10^{-5} \frac{\text{Torr l}}{\text{s}}$$

$$P_{res} = \frac{\sum Q_i}{S_{fBD}} \Rightarrow S_{fBD} = \frac{3 \times 10^{-5}}{6 \times 10^{-7}} \approx 50 \text{ l/s}$$

Cálculo da S_{BD}

$$S_{fBD} = \frac{S_{BD} \times C_s}{S_{BD} + C_s} \Rightarrow S_{BD} = \frac{S_{fBD} \cdot C_s}{C_s - S_{fBD}}$$

$$\therefore S_{BD} = \frac{50 \times 110}{110 - 50} = 92 \text{ l/s}$$

Observações

• A condutância do sistema (C_s) é a condutância total entre a "boca" da BD e a "boca" do sistema. As condutâncias devem ser calculadas antes de finalizar o projeto do sistema.

• O próximo passo é calcular a velocidade de bombeamento da bomba mecânica (S_{BM}). Para isto devemos estimar $S_{ef\ BD}$.

Devemos levar em conta o throughput de desgasificação da câmara ($Q \approx 3,1 \times 10^{-5} \frac{\text{Torr l}}{\text{s}}$).

Atenção: Nesse sistema, N_2 será injetado até a pressão atingir 10^{-3} Torr , ou seja,

$$Q_{\text{injeção } N_2} = S_{ef\ BD} \times P_{\text{injeção}} = 50 \times 10^{-3} = 5 \times 10^{-2}$$

Isso significa que $Q_{\text{injeção } N_2} \approx 1000 Q_{\text{degas}}$.

Portanto, a BM deve ser dimensionada para superar esse throughput.

ⓑ Com a injeção de N_2 .

$$P_{\text{sistema}} \rightarrow 10^{-3} \text{ Torr}$$

Supondo S_{BD} e $S_{ef\ BD}$ constantes na faixa de pressões de trabalho, vem:

$$Q_{\text{injeção } N_2} = P_s \times S_{ef\ BD} = 10^{-3} \times 50 = 5 \times 10^{-2} \frac{\text{Torr l}}{\text{s}}$$

No cálculo da bomba mecânica (S_{BM}) devemos considerar a conservação do fluxo (throughput)

$$\therefore Q_1 = Q_2$$

então

$$P_s S_{ef BD} = P_F S_{ef BM}$$

$$10^{-3} 50 \text{ l/s} = 2 \times 10^{-1} \text{ Torr} \cdot S_{ef BM}$$

então $S_{ef BM} \sim 0,25 \text{ l/s} \Rightarrow 15 \text{ l/min}$

Com isso, vemos que para manter o sistema operando, mesmo com um throughput de injeção de N_2 , precisamos de uma bomba mecânica de pequena porte.

Isso ocorre porque na conservação do throughput a BM trabalha em pressões mais altas ($\sim 10^{-1} \text{ Torr}$).

A partir de $S_{ef BM}$ podemos calcular S_{BM} .

© Temos que verificar um ponto pendente!

A bomba mecânica, precisa também levar o sistema da pressão atmosférica até $\sim 10^{-1} \text{ Torr}$ para poder ligar a Bomba Difusora.

Cálculo do tempo

$$P = P_0 e^{-\frac{s}{V}t} \quad \ln P - \ln P_0 = -\frac{s}{V}t$$

$$\therefore t = \frac{V}{s} \ln \frac{P_0}{P}$$

$$t = \frac{525}{0,25} \ln \frac{700}{10^{-1}}$$

$$t = 5,2 \text{ horas}$$

Esse tempo é inaceitável!

④ A escolha da bomba mecânica depende de ser necessário abrir o sistema de várias vezes ou não.

- Se não for aberto constantemente, podemos usar uma outra bomba de maior porte, cuja velocidade depende do tempo escolhido pelo experimentador, para levar o sistema da pressão atmosférica até $P = 10^{-1}$ Torr. Se a partir dessa pressão podermos ligar a bomba diretamente.

Para a operação do sistema recolocamos a BM de menor porte.

~~Entretanto, em não é usual.~~

- Se o sistema for aberto algumas vezes, devemos imaginar que a câmara vai estar na pressão atmosférica (entrada de ar) e a válvula aberta vai estar fechada. Logo, o restante do sistema vai continuar operando.

Nessa situação, a câmara será evacuada da pressão atmosférica até $P = 10^{-1}$ Torr. Se a partir dessa pressão podermos abrir a válvula aberta e continuar a operação.

Logicamente, podermos usar a solução anterior, ou seja, colocar uma outra bomba mecânica de grande porte para reduzir a pressão da câmara. Nesse caso, devemos fazer uma reticulação especial, com válvula para esse outra bomba.

Essa solução também não é usual.

e) Utilização do atalho (By pass) (desvio)

Em geral utiliza-se a mesma bomba mecânica para as operações do sistema seja para fazer o pré-vacuo (700 Torr \rightarrow 10⁻¹ Torr)

Neste caso, é feita uma ramificação adicional que liga a bomba mecânica (BM) até o sistema.

Nessa situação existe um tempo LIMITE pelo seguinte fato

Quando o sistema for aberto na pressão atmosférica, a válvula a cima da armadilha deve estar fechada. Portanto, todo o sistema continua operando (óleo quente da BD)

Quando o sistema for fechado, a câmara deve ser bombeada até 10⁻¹ Torr para que seja possível abrir a válvula acima da armadilha. Dessa forma, o óleo da BD não ficará exposto à pressões altas.

Lembrando que esse bombeamento é feito pela mesma bomba mecânica.

Com isso, deve ser fechada a válvula de comunicação entre a BM e BD e utilizamos o "By pass"

A Bomba Difusora vai ficar funcionando sem o bombeamento da bomba mecânica.

O tempo máximo para a BD ficar sem o bombeamento da BM é de ~ 30 minutos.

⊕ Final mente podemos calcular S_{BM} .

$$P = P_0 e^{-\frac{S}{v}t}$$

Vamos supor $t = 30$ minutos $= 1800$ s

$t = 30$ minutos também é o tempo para respectar o óleo.

$$t = \frac{V \ln \frac{P_0}{P}}{S} \Rightarrow S_{eq} = \frac{525 \ln \frac{700}{10^{-1}}}{1800}$$

$$\therefore S_{eq} = 2,6 \text{ k/s} \Rightarrow 155 \text{ l/min}$$

⊗ Colúmbio de grande função de big pass!

$$\left. \begin{array}{l} D = 3 \text{ cm} \\ L = 80 \text{ cm} \end{array} \right\}$$

$$P_0 = 700 \text{ Torr} \quad P_f = 10^{-1} \text{ Torr}$$

limite do regime viscoso $D\bar{P} = 1$ $\bar{P} = \frac{1}{3} = 3 \times 10^{-1} \text{ Torr}$

Condutância no regime viscoso entre $700 \times 10^4 \text{ Torr}$

$$C = 180 \frac{D^4}{L} \bar{P} = \frac{180 D^3 D \bar{P}}{L} = \frac{180 \cdot 3^3 \cdot 1}{80} \approx 61 \text{ l/s}$$

$\therefore C \gg S_{eq}$ então $S_{BM} \approx S_{eq}$

~~No big pass~~ //

$$S_{BM} = \frac{C \times S_{eq}}{C + S_{eq}} \approx S_{eq}$$

h) Na fração do BD

- pré vácuo inicial
- condutâncias grandes.

$$S_{ef_{BM}} \sim 2,6 \text{ l/s}$$

→ Qual a velocidade de bombeamento de bomba mecânica S_{BM} ?

Supondo $\left\{ \begin{array}{l} D = 3 \text{ cm} \\ L = 60 \text{ cm} \end{array} \right.$

tubo que liga BD à BM.

$$C = \frac{12 D^3}{L} = \frac{12 \cdot 3^3}{60} \sim 5,4 \text{ l/s} \quad \text{Regime molecular}$$

$$S_{BM} = \frac{2,6 \times 5,4}{5,4 - 2,6} \sim 5,0 \text{ l/s}$$

$$S_{BM} = 300 \text{ l/min}$$

Vamos calcular qual o regime de escoamento na pior hipótese

$$D \bar{P} = 3 \times 10^{-1} = 0,3 \text{ Torr cm}$$

\bar{P}

Regime intermediário

$$C_{int} = C_m \left(\frac{0,074 D}{\bar{\lambda}} + 1 \right)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{5 \times 10^{-3}}{P(\text{Torr})} = \frac{5 \times 10^{-3}}{10^{-1}} = 5 \times 10^{-2}$$

então $C_{int} = 5,0 \left(\frac{0,074 \cdot 3}{5 \times 10^{-2}} + 1 \right) = 27 \text{ l/s}$

Finalmente $S_{BM} = \frac{C \times S_{BMcl}}{C - S_{BM}}$

$$S_{BM} = \frac{27 \times 2,6}{27 - 2,6} = 2,8 \text{ l/s} \Rightarrow 172 \text{ l/min}$$

Podemos então comparar uma bomba entre os dois valores calculados

Surgirão S_{BM} entre 50 l/s e 28 l/s

$$S_{BM} = 40 \text{ l/s}$$

$$240 \text{ l/min}$$

i) Colunando o tempo de bombamento da câmara pelo kg pass.

$$t = \frac{V}{S} \quad \ln \frac{700}{10^{-1}} = \frac{525 \ln 700}{40} \Rightarrow t \sim 20 \text{ minutos}$$

i) Assim uma bomba de $S = 240 \text{ l/min}$ satisfaz os requisitos

k) Nem sempre existe no mercado bombas necessárias e/ou diferentes com as velocidades de bombamento que você calculou. Mas, você pode comprar aquela que mais se aproxima das exigências do seu sistema.