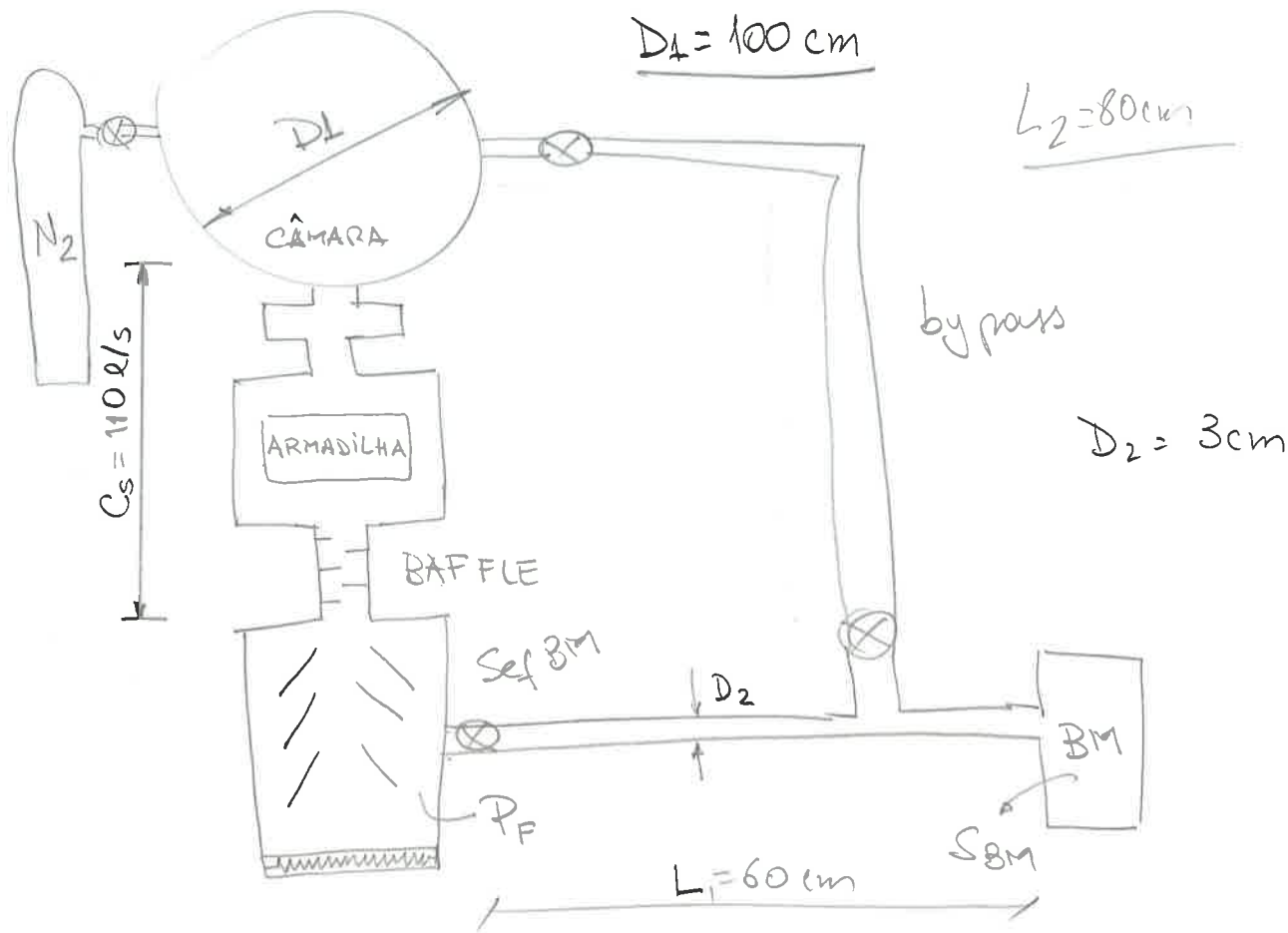


Sistemas de vácuo

EXEMPLO I



A câmara de vácuo com $D = 100\text{ cm}$ deve ser operada em pressões $P_v \sim 6 \times 10^{-7}\text{ Torr}$, após 24 horas de bombeamento - Sistema todo de metal.

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

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

Considere que a condutância entre a entrada da bomba difusora (BD) e a entrada da câmara seja $C_s \equiv 110\text{ l/s}$

Problema a resolver:

Determinar S_{3D} e S_{8M}

Elaborar hipóteses adicionais se necessário

Ⓐ Cálculo sem a injeção de N_2 (GAS LOAD)

Área da câmara

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

Volume da câmara

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi (50)^3 = 523599 \text{ cm}^3 = 524 \text{ L.}$$

Supondo que não existam vazamentos real/virtual na pressão de trabalho de sepoide.

A desgasificação (DESORÇÃO TÉRMICA) é da ordem de $q = 10^{-9} \frac{\text{Torr l}}{\text{s cm}^2}$, para metal após algumas horas de bombeamento (sem aquecimento)

$$Q = 10^{-9} \times A \left(\frac{\text{Torr l}}{\text{s cm}^2} \right)$$

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

$$P_{res} = \frac{\sum Q_i}{S_{ef BD}} \Rightarrow S_{ef} = \frac{3 \times 10^{-5} \frac{10000 \text{ l}}{\text{s}}}{6 \times 10^{-7} \frac{\text{s}}{10000 \text{ l}}}$$

$$\therefore S_{ef} = 50 \text{ l/s}$$

CALCULO DA S_{BD}

$$S_{ef BD} = \frac{S_{BD} \times C_s}{S_{BD} + C_s}$$

$$S_{BD} = \frac{S_{ef BD} \cdot C_s}{C_s - S_{ef BD}}$$

$$\therefore S_{BD} = \frac{50 \times 110}{110 - 50}$$

$$S_{BD} = 92 \text{ l/s}$$

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 isso, devemos estimar a S_{fBD} .

Devemos levar em conta o throughput de desgasificação da câmara $\Rightarrow Q = 3,5 \times 10^{-5} \frac{\text{Torr} \cdot \text{l}}{\text{s}}$

Atenção

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

$$Q_{\text{injeção}}^{N_2} = S_{fBD} \times P_{\text{injeção}} = 50 \times 10^{-3} = 5 \times 10^{-2} \frac{\text{Torr} \cdot \text{l}}{\text{s}}$$

Isso significa que $Q_{\text{injeção}}^{N_2} \sim 1000 Q_{\text{degas}} !!$

Portanto, a Bomba Mecânica deve ser dimensionada para suportar esse throughput.

B) Cálculo de S_{BM} considerando a injeção de N_2

(3)

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

Supondo que S_{BD} e S_{BM} sejam constantes na faixa de trabalho, temos:

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

Para o cálculo da velocidade da bomba mecânica (S_{BM}) devemos considerar a conservação do throughput.

$$\therefore \boxed{Q_1 = Q_2}$$

Então,

$$P_s S_{\text{efBD}} = P_f S_{\text{efBM}}$$

$$10^{-3} \times 50 = 2 \times 10^{-1} S_{\text{efBM}}$$

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

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

Isso ocorre porque na conservação do throughput a bomba mecânica trabalha em pressões mais altas (10^{-1} Torr)

A partir de S_{efBM} podemos calcular S_{BM}

© Temos que verificar um ponto pendente!

A bomba mecânica é usada também, através do "bypass", levar o sistema desde a pressão atmosférica até $\sim 10^{-1}$ Torr para poder abrir para a bomba difusora (BD).

Cálculo do tempo de bombeamento

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

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

Substituindo

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

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

Esse tempo é inaceitável!!

Ⓛ A escolha da bomba mecânica (BM) vai depender se é necessário abrir o sistema de vácuo várias vezes ou não.

- Se o sistema não for aberto constantemente:

Podemos usar uma outra bomba de maior porte, cuja velocidade de bombeamento depende do tempo de espera, escolhido pelo pesquisador para levar o sistema desde a pressão atmosférica até $P_F = 10^{-1}$ Torr

Só a partir dessa pressão podemos ligar a bomba difusora e também abrir o sistema para a bomba difusora em funcionamento.

Para a operação do sistema relocalizamos a BM de menor porte. Entretanto, isso não é usual.

- Se o sistema for aberto algumas vezes, devemos imaginar que a câmara vai estar na pressão atmosférica (entrada aberta) e a válvula gate vai estar fechada. Logo, o restante do sistema vai continuar operando. Nessa situação, a câmara será evacuada da pressão atmosférica até 10^{-1} Torr. Só a partir dessa pressão podemos abrir a válvula gate e continuar a operação.

Logicamente, podemos usar a solução anterior, ou seja, colocar uma outra bomba mecânica de grande porte para reduzir a pressão da câmara. Neste caso, devemos projetar uma entrada adicional, com uma válvula para essa outra bomba. Essa solução também não é usual.

⇒ Alguns "leak detectors" têm uma bomba mecânica adicional

(E) Utilização do atalho (by pass) (desvio)

Em qual, utiliza-se a mesma bomba mecânica, seja para o operação do sistema BD+BM, seja para fazer o pró-vácuo $700 \text{ Torr} \rightarrow 10^{-1} \text{ Torr}$.

Neste caso, é projetada uma ramificação adicional, que liga a bomba mecânica (BM) à câmara de vácuo.

Nesta situação, existe um tempo limite.

Quando o sistema for aberto na pressão atmosférica a válvula acima da armadilha deve estar fechada.

Portanto, todo o sistema continue operando (óleo quente na BD)

Quando o sistema for fechado, a câmara deve ser bombeada até 10^{-1} Torr , para poder abrir a válvula quente. Dessa forma, o óleo da BD não ficará exposto à pressão atmosférica.

Este bombeamento é feito pela bomba mecânica. Com isto, deve ser fechada a válvula de comunicação entre a BM e a BD. Utilizando o "by pass".

A bomba difusora fica por um tempo sem o bombeamento da bomba mecânica.

O tempo máximo para a BD ficar sem o bombeamento da BM é de uns

30 minutos !!

F) Finalmente, podemos calcular S_{BM}

$$P = P_0 e^{-\frac{S}{V}t} \quad \text{supondo } t = 30 \text{ min} = 1800 \text{ s}$$

$t = 30 \text{ min}$ também é, aproximadamente, o tempo para esquentar o óleo da BD.

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

$$\therefore S_{ef, BM} = 2,6 \text{ l/s} \equiv 155 \text{ l/min}$$

G) Calculo da condutância do by pass.

$$\begin{cases} D = 3 \text{ cm} \\ L = 80 \text{ cm} \end{cases}$$

$$\begin{cases} P_0 = 700 \text{ Torr} \\ P_f = 10^{-1} \text{ Torr} \end{cases}$$

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

Condutância no regime viscoso entre 700 e 10^{-1} Torr.

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

$\therefore C \gg S_{ef, BM}$ então $S_{BM} \sim S_{ef, BM}$

$$S_{ef, BM} = \frac{C S_{BM}}{S_{BM} + C} \sim S_{BM}$$

(4) Cálculo de S_{BM} na trajetória da BD

- Pré-vácuo inicial
- Condutâncias grandes

$$S_{ef\ BM} \approx 2,6 \text{ l/s}$$

\Rightarrow Qual a velocidade de bombeamento da bomba mecânica S_{BM} ?

Supondo $\begin{cases} D=30\text{cm} \\ L=60\text{cm} \end{cases}$

Tubo que liga BD à BM

$$C = \frac{12D^3}{L} = \frac{12(3)^3}{60} \approx 5,4 \text{ l/s}$$

Regime molecular

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

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

$$\approx 20 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Vamos calcular qual é o regime de escoamento, na pior das hipóteses

6

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

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

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

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

Finalmente,

$$S_{BM} = \frac{S_{ef\ BM} \times C}{C - S_{ef\ BM}}$$

$$S_{BM} = \frac{2,6 \times 2,7}{27 - 2,6} = 2,8 \text{ l/s} \therefore S_{BM} = 172 \text{ l/min}$$

Podemos comparar uma bomba entre os dois valores calculados.

Sugestão: S_{BM} entre $5,0 \text{ l/s}$ e $2,8 \text{ l/s}$

$$S_{BM} = 4,0 \text{ l/s} \Rightarrow S_{BM} = 240 \text{ l/min}$$

