

MODELAGEM FÍSICO-MATEMÁTICA DE TAXA DE TRANSFERÊNCIA DE GÁS E CONDUTÂNCIAS PARA DETECTORES DE VAZAMENTO

Thiago Ricardo Braga¹

thiago.silva440@fatec.sp.gov.br

Departamento de Sistemas Eletrônicos – DSE

Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC-SP – CEETEPE

Francisco Tadeu Degasperi

ftd@fatecsp.com

Departamento de Sistemas Eletrônicos – DSE

Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC-SP – CEETEPE

1. Introdução

A detecção de vazamentos é uma parte crucial da tecnologia do vácuo, com amplas aplicações em indústrias e pesquisas que necessitam estarem em vácuo para garantir a qualidade de seus processos. Ele também é importante em sistemas de altas-pressões, onde os vazamentos podem contaminar o ambiente ao redor com substâncias nocivas.

Desta forma, se faz necessária a criação de novos métodos e meios de validação para a detecção de vazamentos. Com isso, buscamos em nosso projeto a calibração de medidores de vazamento com precisão na ordem de 10^{-4} a 10^{-5} mbar·L/s, baseando este trabalho fortemente na teoria e na utilização de diversos métodos matemáticos para a determinação das curvas experimentais, realizados no Laboratório de Tecnologia do Vácuo – LTV da FATEC-SP.

2. Metodologia

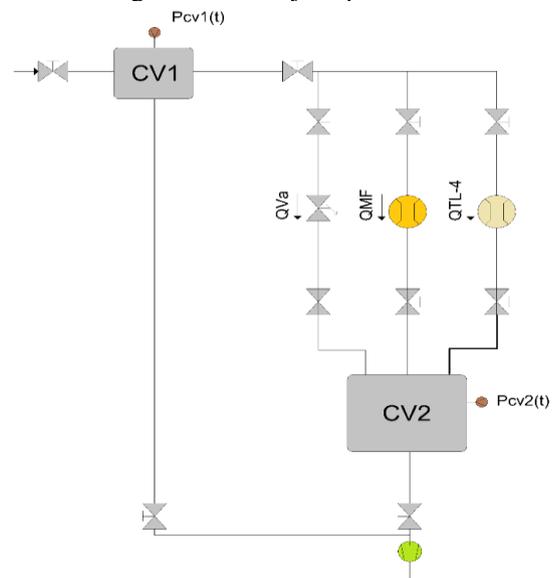
Por meio da teoria da tecnologia do vácuo, modelara-se o throughput (Q) de determinados dispositivos de injeção de gases como o TL-4 da Leybold, que, por meio do efeito de blocagem, uma válvula agulha da Edwards e por fim o Mass Flow Controller (MFC) da Brooks, que estes vazamentos por cada um são previamente determinado pelo fabricante. Analisando a pressão em duas câmaras e os dispositivos de injeção controlada entre elas, podendo utilizar até os três em conjunto, haverá uma diferença de pressão que aumentará com o tempo, o throughput (Q) é determinado analisando esse acréscimo da pressão pelo tempo, Equação 1, e assim é possível calcular a condutância (C) mostrado na Equação 2 [1][2]:

$$Q = \Delta p \cdot \frac{V}{t} \quad [Eq. 1]$$

$$C = \frac{Q}{\Delta p} \quad [Eq. 2]$$

O esquemático mostrado na Figura 1 mostra o arranjo experimental completo.

Figura 01 – Diagrama do arranjo experimental.



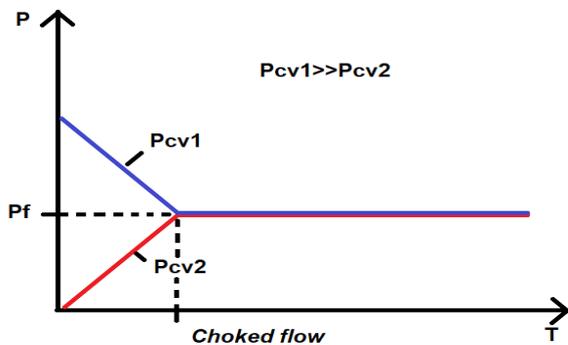
Fonte: Os autores (2024).

O foco deste trabalho é desenvolver um padrão confiável de vazamento, para alcançar este objetivo é necessário simular um vazamento e para isso é feita uma diferença de pressão entre as duas câmaras de vácuo, em que a câmara de vácuo um (CV1) tem pressão maior ou igual a pressão atmosférica e a câmara de vácuo dois (CV2) uma pressão muito menor que a pressão atmosférica. Com dois sensores de pressão em cada uma das câmaras pode-se analisar precisamente o acréscimo e o decréscimo das pressões.

Desta forma ocorrerá um throughput (Q), dependente da diferença de pressão e do tipo de gás, e a partir deste throughput (Q) calcula-se a condutância (C) e com isso pode-se plotar um gráfico da condutância pela pressão, e com este gráfico será criado um padrão confiável de vazamento. Podendo equacionar o throughput utilizando parte da Equação 1.

Com essa diferença de pressão e simulando um vazamento pela válvula agulha, há o decréscimo da pressão Pcv1 em função do tempo e o acréscimo da pressão Pcv2 em função do tempo, limitado pelo choked flow que manterá o throughput (Q) constante, não tendo diferença de pressão. Obtém-se o seguinte gráfico mostrado na Figura 2.

Figura 02 – Vazamento ocasionado pela válvula agulha.



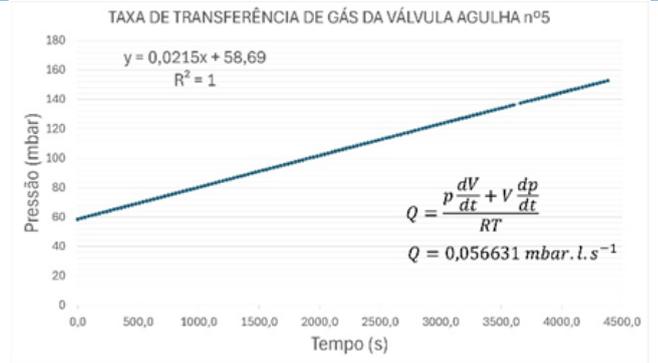
Fonte: Os autores (2024).

Este gráfico mostra exatamente que quando não há diferença de pressão, não ocorre vazamento, e por sua vez o throughput (Q) será constante.

3. Resultados e Discussões

Utilizando o método de acúmulo de gás, no qual o sistema de bombeamento é desliga e se espera a pressão do sistema aumentar por um longo período, é possível calcular a taxa de vazamento intrínseca do sistema [1], após isso, coletamos cerca de 150 pontos de pressão após a abertura da válvula agulha ao sistema, obtendo o gráfico representado na Figura 3, com a temperatura controlada de 20°C e com gás atmosférico. Observa-se que há linearidade, o que permite calcular o coeficiente linear da reta e, assim, calcular a taxa de transferência de gás da válvula-agulha.

Figura 03 – Gráfico do Q da válvula agulha

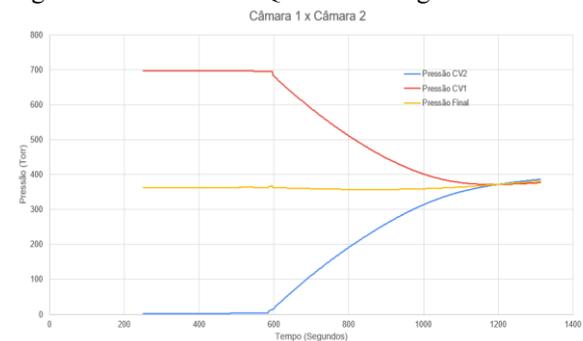


Fonte: Os autores (2024).

Esses cálculos nos ajudam a criar métodos que podem ser utilizados comparados ao TL-4, que é o principal método utilizado, posteriormente pode ser realizado esse teste em todas as posições da válvula agulha, a fim de condicioná-la para trabalhos futuros.

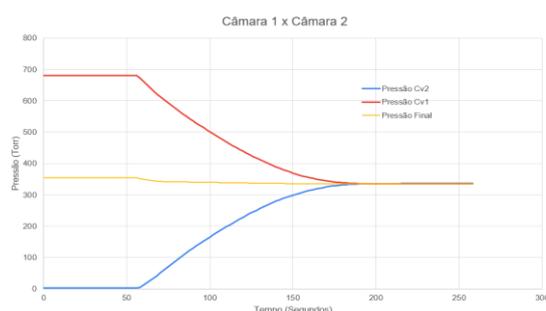
O próximo teste com a válvula agulha, é realizar vácuo na câmara 2 e a câmara 1 em pressão atmosférica, porém desta vez variando sua pressão, essa variação ocorre naturalmente devido ao vazamento simulado pela válvula agulha, este processo já foi detalhado anteriormente. Foram feitas duas medidas, uma com a válvula agulha na posição 10 e outra na posição 20, respectivamente Figura 4 e 5.

Figura 04 – Gráfico do Q da válvula agulha



Fonte: Os autores (2024).

Figura 05 – Gráfico do Q da válvula agulha



Fonte: Os autores (2024).

Sendo a pressão final descrita como:

$$pf = \frac{p_1V_1 + p_2V_2}{(V_1 + V_2)} [Eq. 3]$$

Essas medidas são totalmente dependentes da diferença de pressão, dando ênfase a maior pressão, ou seja, aumentando ou diminuindo a maior pressão, temos diferentes valores de pressão final.

4. Conclusões

A metrologia é a ciência da medição, e é essencial para garantir a precisão e confiabilidade dos resultados de qualquer processo industrial ou laboratorial. Em sistemas de vácuo, a metrologia é ainda mais importante em determinação de taxas de vazamentos aceitáveis, pois caso tenha algum vazamento de grandeza significativa, que pode acarretar uma série de problemas, portanto a detecção de vazamentos em sistemas de vácuo é uma tarefa essencial para garantir o funcionamento correto e a segurança desses sistemas. Vazamentos podem causar uma série de problemas.

Com o arranjo atualizado, é possível atingir uma taxa de throughput na ordem de $2,7 \times 10^{-4}$ mbar·L/s, este valor é adequado para a instalação do TL-4, pois seu valor de transferência de gases é de 10^{-4} em condições normais, o ideal seria com a ordem de grandeza

de 10^{-3} a 10^{-4} , com essa ordem de grandeza, podemos definir a sensibilidade do nosso sistema. Pretende-se compará-lo com outros métodos de injeção controlada de gases, como a utilização da válvula agulha, pode-se obter valores de throughput extremamente baixos. O arranjo atual possui boa estanqueidade e possibilita a extração de dados de maneira precisa e confiável, sendo necessário a extração de dados do MFC e do TL-4, com esses resultados pode-se alcançar o objetivo de criar um padrão confiável de vazamento.

Referências

- [1] PFEIFFER, The Vacuum Technology Book, Pfeiffer Vacuum GmbH, 2018.
- [2] DEGASPERI, F. T. et. al. Contribuições para análise, cálculo e modelagem de sistemas de vácuo. Campinas (SP), 2006.

Agradecimentos

À instituição CNPq pela bolsa de iniciação científica PIBIC.

¹ Aluno de IC com bolsa CNPq, Iniciação científica.