

MODELAGEM ANALÍTICO-NUMÉRICA-EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA DE ALTO-VÁCUO TUBULAR

Vinicius Carvalho Morais

Fatec São Paulo - vinicius.morais9@fatec.sp.gov.br

Francisco Tadeu Degasperi

Fatec São Paulo - ftd@fatecsp.br

1. Introdução

Os sistemas tubulares estão presentes em grande parte dos sistemas de vácuo, principalmente em linhas de bombeamento. Utilizando a formulação contínua é possível obter os valores de pressão que se distribuem em cada ponto do espaço de um sistema, na câmara de vácuo, linha de bombeamento e bomba de vácuo, sendo necessário identificar e definir as fontes de gases e vapores e as condutâncias em cada ponto do sistema [1].

A proposta deste trabalho é de determinar a taxa de desgaseificação (Q_{Deg}) de um sistema tubular de aço austenítico 304L utilizando métodos analítico-numéricos (Equação Diferencial Parcial), computacionais (Monte Carlo) e experimentais.

2. Metodologia e Materiais

Em pressões abaixo de 10^{-3} mbar a fonte gasosa predominante em um sistema de vácuo é a desgaseificação, que tem origem da dessorção de gases e vapores. A taxa de desgaseificação está relacionada com o estado de limpeza e a classe do material que está sendo desgaseificado, como mostra as expressões 1 (10 horas de exposição ao vácuo) e 2 (a partir da 11ª hora).

$$q_{Deg}^{\alpha}(t) = q_0^{Inicial} \frac{1}{t^{\alpha}} \quad (1)$$

$$q_{Deg}^{\beta}(t) = q_0^{\beta} \exp[-\beta(t - t_c)] \quad (2)$$

A Figura 1 apresenta o sistema de vácuo utilizado neste estudo, composto por quatro tubos de aço inoxidável austenítico 304 L, totalizando um comprimento de 3,5 metros e diâmetro de aproximadamente 1,6 centímetros (modelo ISO KF 16). Todos os tubos e componentes expostos ao vácuo foram submetidos as mesmas etapas de limpeza, de modo a uniformizar o processo, em que foi utilizado detergentes alcalino e neutro, água (para enxágue) e álcool isopropílico.

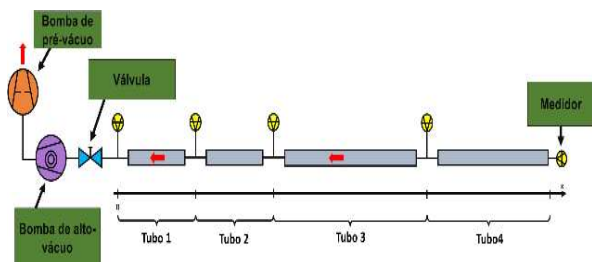


Figura 1 - Sistema Tubular.

Como forma de minimizar e evitar que possíveis fontes de gases de contaminar o sistema, limitar a pressão final do sistema abaixo do esperado e prejudicar os dados experimentais foi adotado o método de limpeza com solventes, descrito anteriormente, que é mostrado passo-a-passo na Figura 2. Além de polir conexões com superfícies riscadas, para evitar que haja vazamentos reais, ou seja, a entrada de gases da atmosfera, que resulta em um valor pressão diferente do que esperado teoricamente e por simulação, conforme a condutância do risco. Com o término da limpeza e polimento, as conexões devem ser embaladas com papel alumínio, pois ele permite que vapores formados após o processo de limpeza sejam liberados e evita que gases da atmosfera contaminem a parede do componente.



Figura 2 – Etapas de limpeza dos componentes sistema tubular. 1- Detergente alcalino; 2- Enxágue; 3- Detergente neutro; 4- Enxágue; 5- Álcool isopropílico; 6- Embalagem.

No alto-vácuo as partículas têm um livre caminho médio muito grande, resultando em colisões mais frequentes com as superfícies das paredes do que entre si, sendo este o regime molecular. Em geral, os problemas relacionados a este regime podem ser resolvidos utilizando equações diferenciais parciais, sendo solucionadas de forma algébrica ou numérica [1].

Uma das grandes vantagens de utilizar métodos numéricos como solução de um sistema de vácuo, no regime molecular, é a utilização de métodos computacionais. Como é o caso do método de Monte Carlo (MMC), que soluciona fórmulas da teoria cinética dos gases sem simplificações [2], como nos simuladores molflow (CERN) e o COMSOL Multiphysics, com a ferramenta finf (free molecular flow).

Quando simulado, o sistema tubular nos softwares COMSOL Multiphysics e molflow é interpretado de pelo método contínuo, que considera que cada ponto do espaço tem um determinado valor de pressão e é dado a partir de um gradiente de cores, como na Figura 3, que mostra o gradiente obtido em cada um dos softwares,

discutido anteriormente, que indica o valor de pressão para cada ponto de espaço e pode ser interpretado a partir de uma tabela de cores fornecida pelos simuladores.

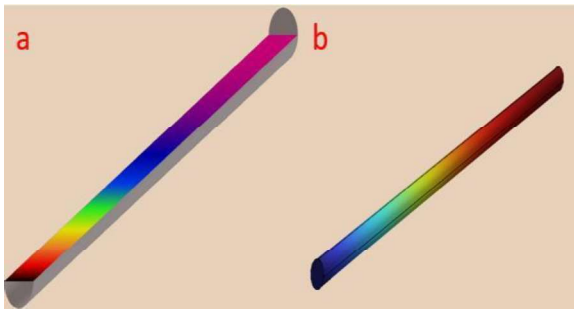


Figura 3: Simulações computacionais. a - Molflow; b - Comsol Multiphysics.

Para a coleta dos dados experimentais, foi adotado que entre os tubos fossem encaixadas conexões T para o posicionamento dos medidores de alto-vácuo, sendo utilizado dois medidores penning, um modelo AIM-S- NW 25 e um modelo CP-25-S, da Edwards. Além disso, foram instaladas duas bombas de vácuo, uma bomba mecânica de palhetas (pré-vácuo), modelo TRIVAC D8- A da Leybold, e uma bomba Turbo-Drag, modelo MDP 5011 da Adixen, um filtro, para evitar que haja contaminação do sistema pelo óleo da bomba de pré- vácuo, e um válvula de membrana para isolamento do sistema, permitindo realizar testes de vazamento. Foram fabricados, pelo método de usinagem, quatro tubos de aço inoxidável 304 L, sendo dois com 52,2 cm, um com 100,2 cm e outro 122 cm de comprimento, tendo todos diâmetro interno de aproximadamente 1,6 cm. No sistema abaixo, Figura 4, foi acoplado uma conexão T com um medidor Penning para ser utilizado como valor de pressão de referência para testar o vazamento real nos tubos.

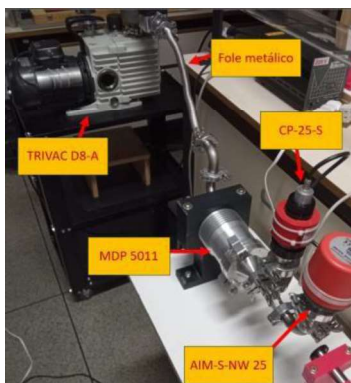


Figura 4 - Sistema Experimental para coleta da pressão de referência

3. Resultados

O gráfico da Figura 5 apresenta a distribuição dos valores de pressão para cada posição do eixo x do sistema tubular, modelado nos softwares Molflow e COMSOL Multiphysics. A curva mostra os valores de pressão final

após o sistema alcançar o estado estacionário (pressão não varia com o tempo).

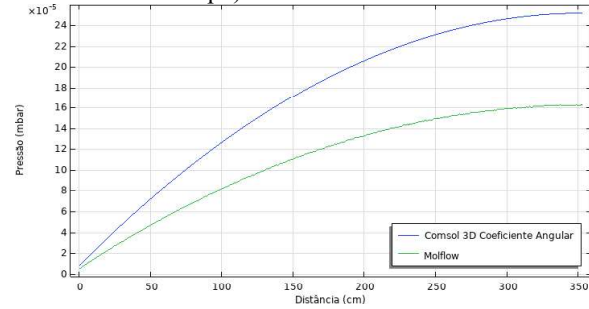


Figura 5 - Campo de pressão em função da posição (x) do Sistema tubular.

As respectivas soluções obtidas nos softwares molflow e COMSOL são dadas pelas funções parabólicas, nas expressões 3 e 4.

$$P_{s1}(x) = -1.10^{-9}x^2 + 9.10^{-7}x + 5.10^{-6} \quad (3)$$

$$P_{s2}(x) = -2.10^{-9}x^2 + 1.10^{-6}x + 8.10^{-6} \quad (4)$$

Durante a medição dos valores pressão final, para teste de vazamento, foram identificados vazamentos reais acentuados nas regiões das soldas, o que impediu que a pressão final, na extremidade do tubo, alcançasse um valor superior ao fundo de escala do medidor Penning AIM-S- NW 25, sendo valores superiores à 10^{-3} mbar.

4. Conclusões

As diferenças nos valores de pressão final, obtidos na curvas dos métodos do coeficiente angular (AC) e de Monte Carlo (MMC), podem ser devido a malha (AC) ser insuficiente precisa.

Há a hipótese de que o vazamento real tenha sido provocado durante o processo de fabricação, principalmente devido à solda de má qualidade. Estes tubos não estão adequados para determinar o campo de pressão experimentalmente, tornando-se necessário fabricar novos tubos, que deverão passar por processos de fabricação uniformes e com soldagem de boa qualidade, é recomendado que seja utilizado o processo de soldagem TIG ou a laser. Com isso, o campo de pressão poderá ser comparado com os valores obtidos por método de Monte Carlo e de coeficiente angular.

5. Referências

- [2] F. T. Degasperi. Contribuições para análise, cálculo e modelagem de sistemas de vácuo. 2005. 364 p. Tese (doutorado) – UNICAMP, Campinas, SP.
- [3] R. Kersevan. Analytical and numerical tools for vacuum systems. 2007.

Agradecimentos

Ao CNPq pelo fomento da bolsa PIBIC.