

3.06.02 Engenharia Química/ Operações Industriais e Equipamentos para Engenharia Química

**SIMULAÇÃO DO TROCADOR DE CALOR DE UMA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA**

Pedro E. M. Santos 1\*, Nicolas A. L. M. Luna<sup>2</sup>, Ronaldo D. F. Junior<sup>2</sup>, Felipe F. Alcantara<sup>3</sup>, Miguel L. Oliveira<sup>4</sup>, Luciano A. P. Vieira<sup>5</sup>, Luiz Lima<sup>6</sup>, Sérgio Lucena<sup>7</sup>

1. Mestrando em Tecnologias Energéticas e Nucleares – UFPE

2. Estudante de Automação Industrial do IFPE, formado em Engenharia Química pela UFPE

3. Mestrando em Engenharia Química – UFPE

4. Gerente de Manutenção e Engenharia

5. Gerente de Operações

6. Engenheiro de Processos e Utilidades

7. Professor do Departamento de Engenharia Química – CTG – UFPE/Orientador

**Resumo**

Este trabalho tem por objetivo realizar a modelagem matemática e simulação computacional no Aspen Plus de um trocador de calor do tipo casco e tubo, utilizado no processo industrial real de uma indústria petroquímica, utilizando dados reais de processo de modo a se obter dados não medidos pela indústria petroquímica que auxiliem na avaliação do equipamento. Com a entrada de dados das correntes e com as especificações de construção do trocador de calor, foi elaborado o modelo matemático para a simulação no módulo exchanger design and rate do Aspen Plus. Comparando-se os valores do processo industrial com os obtidos pela simulação, observa-se diferenças de até 15,5°C, podendo indicar algum problema que afete a eficiência do trocador de calor. Com a simulação são obtidos parâmetros como velocidade do fluido, queda de pressão, calor trocado e coeficiente global de transferência de calor. A simulação se mostrou uma importante ferramenta para uso na avaliação de um trocador de calor.

**Palavras-chave:** Aspen Plus; Heat exchanger design and rate; Dados de processo.

**Introdução**

Trocadores de calor do tipo casco e tubo tem uma geometria bastante robusta, são de fácil manutenção e apresentam possibilidade de mudanças estruturais de forma fácil. Esses fatores tornam esses trocadores os mais usados em diversas aplicações industriais como em plantas petroquímicas, usinas nucleares, plataformas petrolíferas entre outros [1, 2]. Os trocadores de calor do tipo casco e tubo são empregados em mais de 35-40% dos processos de troca de calor em indústrias pelo mundo [3].

A escolha de diferentes disposições de tubos, considerando fatores como a queda de pressão e incrustamentos, de modo a se obter uma melhor troca de calor, passam por programas computacionais que auxiliam na escolha de tais disposições. São importantes para uma melhor eficiência energética gerenciar processos de integralização energética e realizar simulações computacionais de operação [4, 5].

Países industrializados sofrem com perdas que variam entre 0,25 e 0,30% do produto nacional bruto apenas com gastos associados a problemas com trocadores de calor [1]. Estratégias que auxiliem na prevenção destes problemas são importantes para prevenção de gastos.

Este trabalho tem por objetivo utilizar programas computacionais, neste caso o módulo heat exchanger design and rate integrado ao Aspen Plus, para a elaboração da modelagem matemática de um trocador de calor do tipo casco e tubo, utilizado em uma indústria petroquímica, a partir das especificações do trocador e de dados do processo industrial real, para se obter dados que não são medidos pela empresa, importantes para a manutenção e eficiência do equipamento.

**Metodologia**

Para a modelagem matemática foi feito o levantamento de dados da unidade onde se encontra o trocador de calor, do tipo casco e tubo, através de visitas técnicas na indústria química e reuniões com engenheiros responsáveis.

A composição do fluido frio utilizado na simulação no Aspen Plus do trocador de calor é, em percentual mássico, 98,5% de gás carbônico, 1,22% de vapor d'água, 0,13% de oxigênio, 0,13% de monoetilenoglicol e 0,02% de acetaldéido, o fluido quente é composto por, em percentual mássico, 98,53% de gás carbônico, 1,35% de vapor d'água, 0,12% de monóxido de carbono e traços de metano.

Um conjunto de variáveis do processo industrial para a simulação do trocador de calor é observado na Tabela 1.

Tabela 1: Principais dados do processo industrial coletados para o trocador de calor

Dados do processo industrial	
Parâmetro	Valor
Temperatura de Entrada do Fluido Frio	150 °C
Vazão do Fluido	15.020 Kg/h
Pressão de Entrada do Fluido Frio	1,27 bar

Os valores de parâmetros termodinâmicos necessários para a simulação são importadas do banco de dados do Aspen Plus, que os utiliza de acordo com as condições do processo.

Para a modelagem matemática do trocador de calor foram utilizadas todas as especificações de construção do trocador, algumas delas podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2: Especificações coletadas para modelagem do trocador de calor

Diâmetro Externo dos Tubos	Comprimento dos Cubos
Espessura dos Tubos	Diâmetro Externo do Casco
Distância Centro dos Tubos	Diâmetro Interno do Casco
Disposição dos Tubos	Espessura do Casco
Material dos Tubos	Material do Casco
Número de Tubos	Espaçamento entre Chicanas
Número de Passes dos Tubos	Número de Chicanas

Para criação do modelo matemático foi iniciado um novo modelo do tipo casco e tubo, nas opções de aplicação foi definido o modo de calculo design para o dimensionamento do trocador, então, se define a entrada do fluido quente pelo casco ou tubo. Na aba dados de processo são definidos os fluidos para as correntes quentes e frias, juntamente com os parâmetros mínimos necessários para a simulação como vazão, temperatura e pressão das correntes. As propriedades dos fluidos devem ser definidas pelo usuário, caso o mesmo não esteja presente no banco de dados do Aspen.

Após a entrada das especificações de construção do trocador o software gera uma imagem do modelo para o usuário, permitindo uma avaliação visual, como mostra a Figura 1.



Figura 1: Imagem do trocador de calor gerada pelo exchanger design and rate

O trocador de calor estudado funciona como um economizador. O fluxograma do fluido é mostrado na Figura 2, onde o fluido entra em um sistema fechado, primeiramente como fluido frio, sendo parcialmente aquecido pelo trocador de calor e depois passando para o processo industrial, onde o fluido sofre um novo aquecimento e retorna ao trocador como fluido quente.

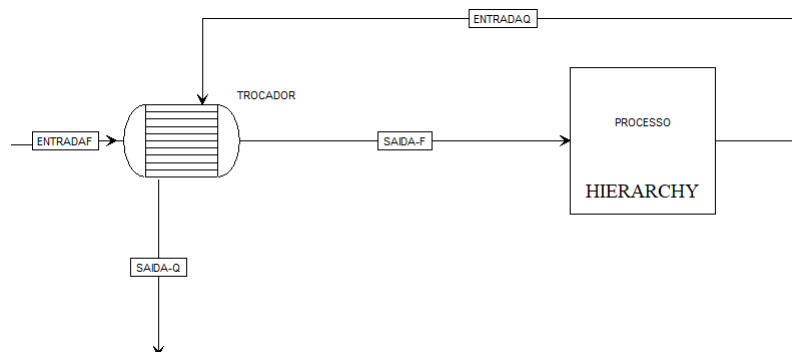


Figura 2: Fluxograma do Fluido na unidade

## Resultados e Discussão

Para a validação do modelo, compara-se os dados do processo industrial real com os resultados obtidos através da simulação computacional no Aspen Plus. A Tabela 3 compara os valores de variáveis da indústria petroquímica com os valores obtidos pela simulação computacional do modelo matemático do trocador de calor.

Tabela 3: Dados do processo industrial x dados da simulação do trocador de calor no Aspen Plus

TEMPERATURA DAS CORRENTES DO TROCADOR DE CALOR VALOR DE PROCESSO INDUSTRIAL X VALOR SIMULADO			
Vazão do fluido 15.020 Kg/h			
Corrente	PROCESSO INDUSTRIAL	SIMULADO	Diferença (°C)
Entrada frio	175°C	175°C	0
Saída frio	304,4°C	319,9°C	-15,5
Entrada quente	407°C	400°C	7
Saída quente	Não é medida	261,3°C	----

A diferença da temperatura da saída do fluido frio do trocador de calor, entre o processo industrial real e o simulado no Aspen Plus, foi de 15,5°C. Essa diferença pode ser devido a incrustações ou danos no trocador de calor que afetam a sua eficiência [1]. Fatores que podem influenciar na medição de parâmetros são a calibração do equipamento e sua localização na planta, como por exemplo, a entrada do fluido quente, valor simulado, que corresponde a temperatura no bocal de entrada do trocador, enquanto que o valor do processo industrial real tem sua medição realizada antes do bocal de entrada do trocador, podendo ocorrer perda de calor durante o trajeto.

A partir da simulação computacional no Aspen Plus foi possível se estimar diversos parâmetros como velocidade do fluido no trocador de calor e a queda de pressão, não medidos pela indústria, esses parâmetros estão listados na Tabela 4.

Tabela 4: Parâmetros gerados pela simulação do trocador de calor

PARÂMETROS GERADOS PELA SIMULAÇÃO DO TROCADOR DE CALOR	
Vazão do fluido 15.020 Kg/h	
Velocidade entrada do casco	19,79 m/s
Velocidade saída do casco	11,21 m/s
Velocidade entrada do tubo	10,28 m/s
Velocidade saída do tubo	20,39 m/s
Queda de pressão calculada casco	0,0614 bar
Queda de pressão calculada tubo	0,02958 bar
Calor trocado	490,5 kW
Coefficiente global de transferência de calor (U)	58,8 W/m <sup>2</sup> K

Fatores como rachaduras e vazamentos são exemplos de problemas que podem ser evitados com o uso dos dados da simulação, uma vez que velocidades elevadas dentro dos tubos de trocadores de calor podem levar a remoção de material do interior dos tubos, causando bloqueios e estresse dos componentes [1].

A simulação do trocador de calor no Aspen pode apontar se, nas condições utilizadas na simulação, o modelo apresenta problemas de vibração, o caso estudado não apresentou este problema. A vibração pode ocorrer, por exemplo, devido a um fluxo turbulento, podendo levar a rachaduras e corrosão por atrito dos tubos com os suportes levando a danos no equipamento [1].

## Conclusões

A utilização do módulo exchanger design and rate do simulador Aspen Plus mostrou-se uma forte ferramenta, como plataforma de simulação de um processo real para aquisição de dados. A partir da geração de resultados que não são medidos pela indústria, pode-se realizar a avaliação de diferentes pontos que anteriormente não poderiam ser avaliados.

A ferramenta de simulação apresenta o potencial para estipular as alterações que determinadas variações no processo, tais como mudança de fluido, temperatura ou vazão, teriam de impacto na eficiência do trocador de calor, sem alterar o processo da indústria. Mudanças estruturais também podem ter seus impactos testados, de forma rápida, sem haver mudanças na estrutura do trocador de calor.

## Referências bibliográficas

- [1] Ali M., Ul-Hamid A., Alhems L. M., & Saeed A. Review of Common Failures in Heat Exchangers - Part I: Mechanical and Elevated Temperature Failures. **Engineering Failure Analysis**, v.109, 2020.
- [2] Master B.I., Chunangad K. S., Pushpanathan V. Fouling Mitigation Using Helix-Changer Heat Exchangers. **Proceedings of the ECI Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning: Fundamentals and Applications**, Santa Fe, NM, pp. 317–322, May 18-22, 2003.
- [3] Kallannavar S., Mashyal S., Rajangale M. Effect Of Tube Layout On The Performance Of Shell And Tube Heat Exchangers. **Materials Today: Proceedings**. 2019.
- [4] Murali S., Bhaskar Rao Y. A Simple Tubesheet Layout Program For Heat Exchangers, **American Journal of Engineering and Applied Sciences** v.1 (2), p.131–135, 2008.
- [5] Sthlik P., Wadekar V. V. Different Strategies To Improve Industrial Heat Exchangers, **Heat Transfer Engineering** v.23 (6), p.36–48, 2002.