

DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA O DIMENSIONAMENTO TERMO HIDRÁULICO DE TROCADORES DE CALOR DO TIPO CASCO E TUBOS

Carlos Henrique Vassoler (PIBIC/CNPq), Victor Hugo Lopes Benedito, Camila de Brito Miranda, Leandro Vitor Pavão (Coorientador), Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani (Orientador), e-mail: ra112364@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia / Maringá, PR.

Engenharia Química, Operações industriais e equipamentos para engenharia química.

Palavras-chave: Trocadores de Calor, Dimensionamento detalhado, Bell-Delaware, Linguagem Python.

Resumo:

Os trocadores de calor são os equipamentos mais utilizados para efetivar a transferência de energia entre fluidos em processos industriais. Poucos trabalhos na literatura apresentam metodologias atuais para o projeto desse tipo de equipamento e poucas ferramentas computacionais de uso livre estão disponíveis. Nesse trabalho apresenta-se um programa computacional para o dimensionamento termo hidráulico de trocadores de calor do tipo casco e tubo desenvolvido em linguagem Python. Um caso de estudo extraído da literatura foi usado para testar o programa desenvolvido e os resultados obtidos comprovam a facilidade de uso e o tempo de execução, disponibilizando ao usuário um rol de soluções para o problema, baseados na padronização existente para o projeto desse tipo de equipamento.

Introdução

Em processos industriais, é comum que correntes de processo necessitem de resfriamento (correntes quentes) ou aquecimento (correntes frias). Os trocadores de calor são equipamentos projetados para atender a essas necessidades, promovendo a troca térmica de maneira indireta entre as correntes quente e fria.

Trocadores de calor bem dimensionados podem diminuir consideravelmente os custos do processo com serviços adicionais de aquecimento e resfriamento, como o uso de vapor saturado e água de resfriamento. A integração energética se faz necessária para atender as demandas do processo, aproveitando ao máximo a energia térmica das correntes e diminuindo assim o consumo com utilidades. Segundo Ravagnani e Caballero (2012), esta integração pode ser dada tanto pela síntese de uma

nova rede de trocadores de calor, quanto pelo dimensionamento de novos equipamentos, ou otimização dos mesmos.

Dentre os tipos de trocadores de calor, o mais utilizado é o multitubular, ou do tipo casco e tubo. Este, como o próprio nome indica, é composto por um casco envolvendo um feixe de tubos. Um dos fluidos deve escoar dentro dos tubos, enquanto que o outro escoar do lado da carcaça, externamente aos tubos, de forma que suas paredes metálicas são responsáveis para realizar a troca térmica, uma vez que os fluidos não entram em contato. Devido à sua estrutura resistente, flexibilidade de projeto e fácil adaptação às condições de processo, os trocadores de calor casco e tubo são de grande utilização.

Alguns métodos são encontrados na literatura para o dimensionamento termo hidráulico deste tipo de equipamento, dado pelo cálculo dos coeficientes de troca térmica por convecção (h) e das perdas de carga (ΔP). O método mais utilizado é baseado na diferença de temperatura entre os fluidos nos terminais do trocador, sendo esta a força motriz para a troca térmica. Poucas ferramentas computacionais de uso livre, sem necessidade de pagamento, estão disponíveis no mercado.

Neste trabalho o dimensionamento dos trocadores de calor do tipo casco e tubo é baseado na sistemática proposta por Ravagnani (1994) e codificada em linguagem Python.

Materiais e métodos

O procedimento utilizado para o desenvolvimento do programa para o dimensionamento dos trocadores casco e tubo pode ser dividido em algumas etapas, de acordo com a sistemática proposta por Ravagnani (1994). Primeiramente, são armazenados os dados do trocador de calor fornecidos pelo usuário, contendo as temperaturas de entrada e saída de cada fluido, além de dados da geometria do equipamento, como comprimento, diâmetro, disposição geométrica e espaçamento entre os tubos, bem como as perdas de carga admissíveis para os lados do casco e dos tubos e o fator de incrustação permitido.

Para o cálculo das propriedades físicas dos fluidos, utiliza-se funções polinomiais e parâmetros encontradas em Perry e Green (2008), quando disponíveis, ou dados experimentais fornecidos pelo usuário, para estabelecer um valor médio baseado no intervalo de temperatura do fluido, utilizando integrações numéricas aplicadas na linguagem Python.

Uma vez disponíveis tais dados, é calculada a média logarítmica das temperaturas ($MLDT$), bem como o seu fator de correção, e é feita uma varredura em uma tabela com possíveis trocadores de calor, disponibilizada pela *Tubular Exchanger Manufacturers Association* (TEMA, 2007).

Esta varredura é iniciada utilizando o número máximo de passagens nos tubos, e assim se obtém o número de tubos, a área de troca térmica e coeficiente global de troca térmica. Com tais dados, calcula-se o coeficiente de película e a perda de carga no lado dos tubos. Se estes valores de perda de carga não forem admissíveis, diminui-se então o número de passagens

nos tubos e faz-se o cálculo de tais propriedades novamente. Caso este já seja o valor mínimo, aumenta-se o tamanho do trocador. Uma vez atendidas as especificações, segue-se para o dimensionamento no lado do casco. Para o lado do casco, faz-se uma varredura com o mínimo espaçamento entre as chicanas. Calcula-se o coeficiente de película e a perda de carga para o casco, utilizando o método de Bell-Delaware (Ravagnani e Caballero Suárez, 2012). Caso os limites de perda de carga não tenham sido satisfeitos, aumenta-se o espaçamento entre as chicanas. Caso o espaçamento seja o máximo, aumenta-se o tamanho do trocador. Uma vez atendidas as especificações, verifica-se se os limites de incrustação estão satisfeitos. Se sim, o dimensionamento está concluído. Caso contrário, aumenta-se o tamanho do trocador de calor, até que todas as especificações tenham sido atendidas.

Resultados e Discussão

Um caso de estudo publicado na literatura foi utilizado para testar a aplicabilidade do programa desenvolvido para o dimensionamento de um trocador de calor do tipo casco e tubo. Na Tabela 1, estão representados os dados das correntes envolvidas no equipamento, como proposto por Ravagnani e Caballero (2012).

Tabela 1 – Dados referentes às correntes de processo envolvidas no trocador a ser dimensionado.

Fluido quente			Fluido frio		
T_{en} (K)	T_{sai} (K)	m (kg/s)	T_{en} (K)	T_{sai} (K)	m (kg/s)
368,15	313,75	27,78	298,15	313,75	68,95
μ (kg/ms)	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kgK)	μ (kg/ms)	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kgK)
$3,4 \cdot 10^{-4}$	750	2840	$8 \cdot 10^{-4}$	995	4200
k (W/mK)	ΔP (kPa)	R_d (m ² K/W)	k (W/mK)	ΔP (kPa)	R_d (m ² K/W)
0,19	68,95	$1,7 \cdot 10^{-4}$	0,59	68,95	$1,7 \cdot 10^{-4}$

O comprimento dos tubos utilizado foi de 6,71 m, seus diâmetros iguais a 19,05 mm, BWG 10, e o arranjo quadrado dos tubos. O escoamento do fluido quente foi selecionado para o lado do casco. O dimensionamento resultou nos dados representados na Tabela 2. Comparando os resultados entre os dois trocadores, nota-se uma grande semelhança entre as características geométricas obtidas nos mesmos, e exatamente os mesmos resultados para a quantidade de tubos e passadas nestes, além das passadas no casco. Os coeficientes de transferência de calor neste trabalho

foram em geral maiores que os obtidos na literatura, porém as quedas de pressão e fator de incrustação também.

Tabela 2 - Resultado do dimensionamento do trocador de calor.

	Trocador referência	Trocador dimensionado
A (m²)	286,15	286,2512
D_{casco} (m)	0,838	0,8382
N_{pc}	1	1
N_t	713	713
N_{pt}	2	2
l_s (m)	0,353	0,16764
h_{io} (W m⁻² K⁻¹)	4186,21	4954,7109
h_o (W m⁻² K⁻¹)	1516,52	1805,84717
U_C (W m⁻² K⁻¹)	758,664	1323,47812
U_D (W m⁻² K⁻¹)	606,019	582,76097
ΔP_{tubo} (kPa)	13,404	54,201
ΔP_{casco} (kPa)	6,445	33,022
R_d (m²K W⁻¹)	3,32.10 ⁻⁴	9,6.10 ⁻⁴

Conclusões

Neste trabalho foi desenvolvido um programa computacional para o dimensionamento termo hidráulico de trocadores de calor, utilizando a sistemática de cálculo proposta por Ravagnani (1994). A linguagem Python foi utilizada para o desenvolvimento dos códigos computacionais. O usuário deve fornecer os dados do trocador de calor e seus fluidos. Um caso de estudo da literatura foi utilizado para testar o programa desenvolvido e os resultados mostram que o programa pode ser utilizado de forma bastante satisfatória para o projeto de trocadores de calor multitubulares, ficando à disposição do usuário uma vasta quantidade de informações a respeito de distintas disposições geométricas aptas a atender as condições limitantes de perda de carga e incrustação para os fluidos escoando no trocador.

Agradecimentos

Os autores são gratos pelo apoio financeiro ao projeto pela agência CNPq, processo 1991/2021.

Referências

PERRY, R.H.; GREEN, D.W. **Chemical Engineers' Handbook**. 8th Ed. McGraw-Hill, New York, 2008;
RAVAGNANI, M. A. S. S.; CABALLERO SUÁREZ, J. A. **Redes de Cambiadores de Calor**. Alicante: Editora de la Universidad de Alicante, 2012;

RAVAGNANI, M. A. S. S. **Projeto e otimização de redes de trocadores de calor.** 1994. 120 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Química, Unicamp, Campinas, 1994;

TEMA – Tubular Exchanger Manufacturers Association. **Standards of the Tubular Exchangers Manufacturers Association.** 9th ed. New York, 2007.