

DIMENSIONAMENTO DETALHADO E SIMULAÇÃO DE TROCADORES DE CALOR DO TIPO CASCO E TUBO

Gustavo Junqueira Valias Meira Filho (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Carolina Borges de Carvalho (Co-orientador), Mauro Antonio da Silva Sa Ravagnani (Orientador).
E-mail: massravagnani@uem.br.

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

Engenharia Química / Operações Industriais e Equipamentos para Engenharia Química

Palavras-chave: Trocador de calor; Dimensionamento; Casco e tubo; Simulação.

RESUMO

Trocadores de calor do tipo casco e tubo são os principais meios de troca térmica entre fluidos em nível industrial. O método de Kern é o mais utilizado para o dimensionamento termohidráulico desse tipo de trocadores. Todavia, o modelo de Bell-Delaware considera fatores de correção para o projeto do casco do trocador, conferindo maior acurácia no dimensionamento. Na indústria, geralmente o projeto de um trocador de calor é realizado por softwares que não explicitam para os usuários as rotas de cálculo para o dimensionamento, impedindo uma compreensão clara de como manipular as variáveis a fim de obter um melhor trocador para um processo industrial. Com isso, o objetivo do trabalho é comparar os resultados obtidos por modelos clássicos da literatura com os resultados alcançados por meio de softwares industriais, além de compreender a influência das variáveis de projeto no desempenho final do trocador de calor.

INTRODUÇÃO

O cálculo de equipamentos da indústria química é bastante complexo, já que reúne diversos conhecimentos empíricos, e não analíticos, como nas outras áreas tecnológicas. Com isso em mente, o ensino na área das ciências térmicas deveria ser capaz de oferecer suporte para rotas de cálculos de dimensionamento de operações unitárias da indústria química para formar bons profissionais no mercado de trabalho.

Um trocador de calor é um equipamento que possui inúmeras camadas geométricas, termodinâmicas e de fenômenos de transporte que devem ser agrupadas para se obter um dimensionamento termo-hidráulico minimamente adequado. O método de Kern propicia uma rota de cálculo com alicerce empírico para o projeto de trocadores de calor do tipo casco e tubo. A fim de corrigir o dimensionamento do casco – no qual o método Kern não consegue ser tão coerente por não considerar desvios de

idealidade importantes, o método de Bell-Delaware foi desenvolvido para suprir essa necessidade.

Ambos os métodos são ensinados durante a formação de um engenheiro químico nas universidades brasileiras e se tornam referenciais importantes para a compressão desses futuros profissionais acerca dos trocadores de calor, equipamentos encontrados em praticamente todas as indústrias químicas.

MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho, implementou-se o método de Kern no ambiente MATLAB. O procedimento matemático e os gráficos foram retirados da literatura. O dimensionamento foi realizado com o objetivo de calcular o coeficiente global de troca térmica, com erro aceitável de 30% do valor inicial escolhido, e as quedas de pressão tanto no tubo quanto no casco do trocador.

Em seguida, o método de Bell-Delaware foi implementado em MATLAB com o procedimento de cálculo e gráficos retirados da literatura para dimensionar o coeficiente global de troca térmica e a queda de pressão da região do casco do trocador, sendo os valores obtidos para o dimensionamento dos tubos, os mesmos que os calculados pelo método de Kern. Ademais, os métodos foram aplicados para um caso industrial que exigia a troca de calor entre metanol quente e água fria em determinadas vazões e com fatores de incrustação determinados.

Com dimensionamento termohidráulico do trocador, alterou-se isoladamente o valor da quantidade de tubos para compreender a proporção do impacto que elas causam no projeto final de um trocador de calor do tipo casco e tubo, principalmente no que diz respeito ao coeficiente global de troca térmica e à queda de pressão.

Por fim, utilizou-se os mesmo resultados no simulador ASPEN Plus para estimar o erro envolvido no dimensionamento pelos métodos convencionais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O caso utilizado no dimensionamento do trocador de calor é apresentado a seguir.

Tabela 1 - Dados de entrada e propriedades físicas dos fluidos

Variáveis de Entrada	Metanol	Água do Mar
$T [\text{°C}/\text{°C}]$	27,78	68,87
$T_{\text{ref}} [\text{°C}]$	95,0	40,0
$T_{\text{ref}} [\text{°C}]$	25,0	40,0
$\rho [\text{kg}/\text{m}^3]$	750,0	995,0
$\text{Pr} [\text{kg}/(\text{kg} \cdot \text{m})]$	2,84	4,20
$\mu [\text{kg}/(\text{kg} \cdot \text{m})]$	0,00034	0,00080
$\text{Pr} [\text{kg}/(\text{kg} \cdot \text{m})]$	0,19	0,59

$\square \square [\square^2 \cdot \square / \square]$	0,00033	0,00020
---	---------	---------

O metanol (fluido quente) foi alocado no casco e a água (fluido frio) foi alocada nos tubos. Outras especificações foram inicialmente definidas pela literatura como parâmetros base para o dimensionamento, como diâmetro externo dos tubos e material do trocador. O dimensionamento termohidráulico resultante para duas passagens nos tubos está apresentado na Tabela 2, para os métodos de Kern e de Bell-Delaware.

Tabela 2 - Dimensionamento do trocador de calor obtido com os dados de entrada.

Variáveis de Design	Método Kern	Método Bell	ASPEN Plus
Diâmetro interno do casco $[\square\square]$	904.73	904.73	905
Condutividade térmica do metal $[\square/(\square \cdot \square)]$	50	50	50
Número de tubos	944	944	944
Comprimento $[\square]$	4,88	4,88	4,88
Diâmetro externo do tubo $[\square\square]$	20	20	20
Coefficiente global de troca térmica $[\square/(\square^2 \cdot \square)]$	649,45	547,16	1548,80
Perda de carga no tubo $[\square\square]$	6876,78	6876,78	8964,70
Perda de carga no casco $[\square\square]$	37689,52	11438,33	4331,60

Os erros obtidos no dimensionamento para os métodos de Kern e Bell-Delaware, respectivamente, são de 58,06% e 64,67% para o coeficiente global de troca térmica, 770,10% e 164,06% para a perda de carga no casco e 23,29% para a perda de carga no tubo para ambos os casos.

Quando a quantidade de tubos varia no trocador, percebe-se que são alterados, também, o coeficiente de troca térmica e as quedas de pressão. Os métodos de Kern e de Bell-Delaware se mostraram bastante efetivos na predição da perda de carga no tubo, com erro máximo de 29,59%, para uma variação de 25% na quantidade de tubos. Contudo, para os métodos de Kern e Bell-Delaware, respectivamente, o menor erro calculado para o coeficiente global de troca térmica foi de 56,44% e 63,52% e, para a perda de carga no casco, foi de 630,03% e 97,97% (Figura 1).

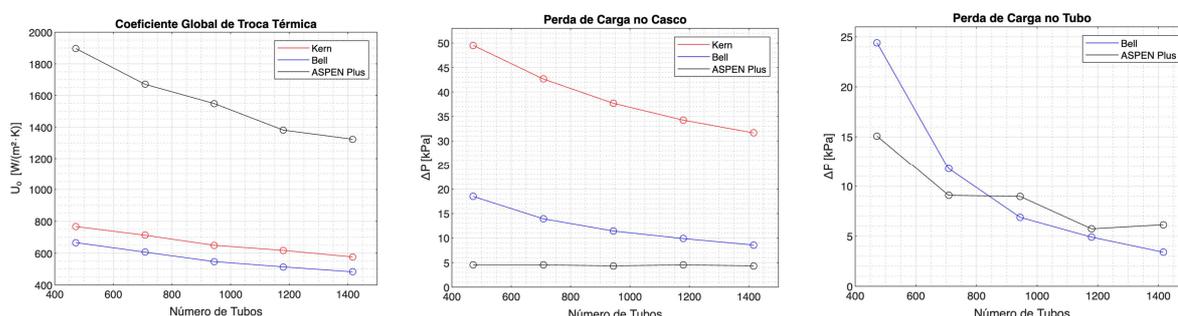


Figura 1 - Comparação dos dados obtidos pelo método Kern e Bell-Delaware com a simulação para cinco variações na quantidade de tubos.

CONCLUSÕES

Os métodos Kern e Bell-Delaware para o dimensionamento de trocadores de calor do tipo casco e tubo apresentaram erros significativamente grandes em comparação ao dimensionamento realizado em um software comercial usado no setor industrial. No entanto, não é possível identificar qual o método utilizado pelo software.

Os métodos de cálculo são extremamente úteis para a compreensão de como certas variáveis influenciam no coeficiente global de troca térmica e na perda de carga do trocador de calor, tal que o método Bell-Delaware, por utilizar fatores de correção no casco, expõem ao engenheiro noções propícias da queda de pressão a partir da mudança de variáveis no projeto. Ambos os métodos não são bons para determinar o coeficiente global de troca térmica do trocador.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC e ao CNPQ pela bolsa concedida para auxiliar a realização deste projeto de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

SINNOTT, R. K. **Chemical Engineering Design**. 4º ed. Oxford: Elsevier, 2005. v. 6. p. 634-709.

KERN, D. Q. **Process Heat Transfer**. International Student Edition. Japão: McGraw-Hill, 1965.

BONFIM-ROCHA, L.; PAVÃO, L. V.; SILVA, R.; YOSHI, H. **Projeto de Trocador de Calor em Aspen Hysys® utilizando o método "Rigorous Shell and Tube"**. Anais do III Encontro de Pesquisa da Fateb: vol. 2 - Engenharia Química p. 472-490, Edition: Editora FATEB, outubro, 2016.