

DESENVOLVIMENTO DE PLANILHAS COMO SUPORTE PARA DISCIPLINAS DE LABORATÓRIO : TROCADORES DE CALOR CASCO/TUBOS

Igor Ranieri Cortez – igrkortez@ibest.com.br

José Miguel Müller – jmu@deq.uem.br

Oswaldo Curty da Motta Lima – oswaldo@deq.uem.br

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química

Campus Universitário

87020-900 – Maringá - PR

RESUMO - *Atualmente com o grande aumento da automação e criação de novas tecnologias tanto industrialmente como também no meio acadêmico tem-se então cada vez mais a necessidade da criação de novos softwares que tem a função de facilitar tantos os cálculos industriais, quanto o aprendizado a nível acadêmico. O trabalho proposto foi a criação de um software em formato EXCEL para um trocador de calor tipo casco tubo, que é o tipo mais utilizado tanto em indústrias químicas quanto alimentícias. Os resultados obtidos mostram a eficiência do EXCEL, diminuindo consideravelmente o tempo necessário para a realização dos cálculos referentes a um trocador tipo casco e tubo, podendo ser facilmente incorporado tanto para a sala de aula quanto a empresas devido á ser um programa de fácil obtenção e operação.*

Palavras-chave: *Excel, Trocador de calor, Software*

1. INTRODUÇÃO

Trocadores de calor são equipamentos muito importantes, eles são indispensáveis para qualquer indústria tanto química quanto alimentícia, sendo assim parte integrante do currículo e do ensino de operações unitárias tanto do curso de engenharia química quanto de engenharia de alimentos. O trabalho trás a proposta da incorporação do EXCEL como ferramenta computacional didática nos estudos de trocadores de calor, visto que é um programa de fácil acesso, operação e com grande exatidão e suas operações.

Com a utilização de programas computacionais tais como o EXCEL tem-se a finalidade de proporcionar um melhor aprendizado do aluno no caso da utilização universitária e a praticidade na realização dos cálculos no caso da utilização industrial, sendo que através da utilização de tal programa o tempo que é utilizado em decorrência dos cálculos de dimensionamento e a análise do desempenho destes equipamentos é consideravelmente menor.

Como exemplo de sua utilização serão desenvolvidos programas para o cálculo de trocadores de calor tipo casco e tubo, podendo-se variar as condições de entrada das correntes obtendo-se assim o dimensionamento da área de troca térmica necessária para tais condições.

Cabe-se ressaltar que o trabalho faz parte de um projeto de ensino que tem como um dos seus objetivos a incorporação de ferramentas computacionais como parte integrante do ensino dos diferentes tópicos da disciplina de Operações Unitárias do DEQ/UEM, possibilitando o seu uso, tanto no dia a dia da sala de aula quanto posteriormente pelos futuros engenheiros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Trocadores de calor são equipamentos que realizam a operação de troca térmica entre dois fluidos, possibilitando, por exemplo o resfriamento e o aquecimento de fluidos. Nesta abordagem os fluidos estão separados por uma parede, que na maioria dos casos é metálica. Assim, estão excluídos dessa definição os equipamentos que realizam o aquecimento de fluidos através de fogo direto ou que utilizam mudança de temperatura pela mistura de duas correntes.

No trocador de calor, o fluido quente é aquele que fornece calor, e se não houver mudança de fase se resfriará. O fluido frio é aquele que recebe calor, se não houver mudança de fase se aquecerá. Os trocadores de calor podem ser classificados de várias maneiras, uma delas é pelo tipo de serviço que realizam dentro de um processo (Kern). A referência é o fluido principal. A água e o vapor d'água utilizado como fonte de energia para o aquecimento não são considerados correntes do processo e sim utilidades.

Os trocadores de calor podem ser classificados da seguinte forma:

- *Trocadores/recuperadores*: recuperam calor entre duas correntes do processo.
- *Condensadores*: são trocadores de calor que removem calor latente de um vapor, o fluido frio normalmente utilizado é água.
- *Resfriadores*: são trocadores de calor utilizados para resfriar uma corrente do processo, utilizando água como refrigerante na maioria dos processos.
- *Aquecedores*: são trocadores de calor utilizados para aquecer uma corrente do processo, utilizando vapor de água saturado na maioria dos casos como fluido aquecedor.
- *Refrervadores*: são equipamentos que fornecem energia na forma de vapor (calor latente) para colunas de destilação.
- *Evaporadores*: são utilizados para a evaporação de água ou de outro solvente para concentrar uma solução.
- *Vaporizadores*: são utilizados para vaporização de fluidos, exceto água. Convertem o calor latente ou sensível de um fluido em calor de vaporização de outro.

2.1 Trocador de calor casco e tubo

O trocador de calor casco e tubo é composto por um casco cilíndrico, contendo um conjunto de tubos, colocado paralelamente ao eixo horizontal do casco. Os tubos são presos em suas extremidades, às placas perfuradas denominadas espelhos, a cada furo corresponde um tubo de feixe. Os espelhos são presos ao casco. Os tubos que compõem o feixe atravessam várias placas perfuradas chamadas de chicanas que tem a função de aumentar a eficiência da troca de calor e também de suportar os tubos.

No trocador de calor casco e tubo, um dos fluidos escoará pelo interior dos tubos (lado tubo) e o outro por fora dos tubos (lado casco). O fluido do lado tubo entrará no trocador através de um bocal, indo para o carretel onde terá ao acesso ao interior dos tubos passando pelos orifícios do espelho.

O fluido do lado casco ingressará no trocador através de um dos bocais, localizados no casco, será direcionado pelas chicanas para cruzar o feixe de tubos várias vezes ao longo de seu comprimento, saindo pelo outro bocal localizado na outra extremidade.

O equipamento pode ser utilizado para amplas faixas de vazão, temperatura e pressão. Normalmente, é o único tipo que pode ser utilizado a processos que necessitam de grandes áreas de troca de calor (acima de 5000m^2), pressões acima de 30 bar e temperaturas acima de $260\text{ }^\circ\text{C}$. Pode ser construído com diferentes materiais, possibilitando a operação com fluidos corrosivos. Pode operar ainda com líquidos, gases ou vapores, como condensador ou vaporizador, em posição horizontal ou vertical, dependendo da necessidade de operação.

2.2 Balanço de energia

O balanço de energia para sistemas abertos sem reação química pode ser descrito como:

$$\Delta E = Q + W - \Delta(H + E_C + E_P) \quad (1)$$

sendo: E a energia total, Q o calor transferido, W o trabalho mecânico ou elétrico, H a entalpia, E_C a energia cinética e E_P a energia potencial.

A maioria dos equipamentos de troca térmica opera em estado estacionário, desta forma, no trocador de calor não há trabalho sendo realizado, não há acúmulo de energia e os termos referentes à energia potencial e cinética são desprezíveis quando comparados com outros termos do balanço de energia. Assim, a equação que pode ser escrita para cada corrente do trocador, passa a ser:

$$Q = w(h_2 - h_1) \quad (2)$$

sendo: w a vazão mássica da corrente e h_1 e h_2 entalpias por unidade de massa da corrente nas condições de entrada e saída, respectivamente.

No trocador de calor pode ocorrer troca de calor com o ambiente, entretanto, a quantidade de calor é pequena ou reduzida por isolamento térmico, podendo assim desprezá-la quando comparada com a quantidade trocada entre os fluidos. Com essa suposição o calor cedido por um fluido passa a ser igual ao calor recebido pelo outro fluido no equipamento. Conseqüentemente:

$$q = w_f(h_{f2} - h_{f1}) = w_q(h_{q2} - h_{q1}) \quad (3)$$

Onde f e q referem-se ao fluido frio e ao fluido quente, respectivamente.

Não havendo mudança de fase em nenhum dos fluidos, apenas calor sensível será trocado e a equação 3 pode ser escrita como:

$$w_f c_{pf}(t_2 - t_1) = w_q c_{pq}(T_2 - T_1) \quad (4)$$

O balanço de energia, no estado estacionário, para uma seção diferencial do trocador é representado pela equação:

$$dq = U \Delta t dA \quad (5)$$

Sendo dq a quantidade de calor trocada na área dA , Δt a diferença de temperatura e U o coeficiente global de transmissão de calor, baseado na área externa do tubo interno.

2.3 Cálculo da Média Logarítmica das Diferenças de Temperatura - MLDT

A MLDT é uma média de temperaturas utilizada nos cálculos de trocadores, pois os fluidos não apresentam variações lineares de temperatura ao longo do equipamento. A MLDT representa de forma mais satisfatória a diferença de temperaturas entre os fluidos. Quando são consideradas as mesmas diferenças de temperatura entre os fluidos para o processo o escoamento contracorrente (Figura 1) apresenta uma MLDT maior. A MLDT é calculada pela equação,

$$MLDT = [(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)] / \ln[(T_1 - t_2) / (T_2 - t_1)] \quad (6)$$

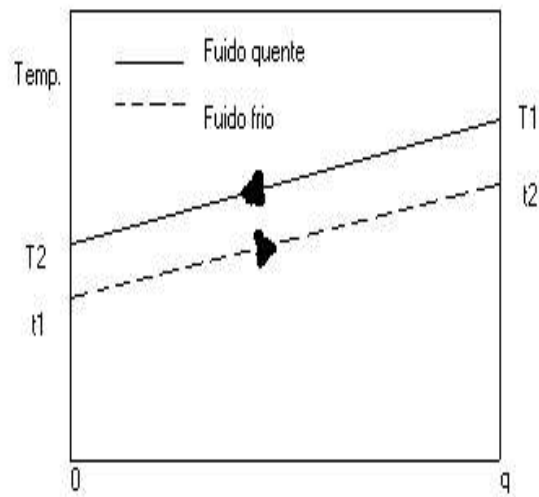


Figura 1: Distribuição de temperatura em um trocador contracorrente

2.4 Coeficiente global de troca de calor

O coeficiente global de troca de calor U é dado pela equação:

$$1/U = 1/h_{io} + 1/h_o \quad (7)$$

onde:

$$h_{io} = h_i * D_{int} / D_{ext} \quad (8)$$

$$h_i = Nu * k * D_{int} \quad (9)$$

$$Nu = 0,0027 * Re^{0,8} * Pr^{1/3} * (\mu / \mu_w)^{0,14} \quad (10)$$

Considera-se para o início do cálculo, que $(\mu / \mu_w)^{0,14}$ seja equivalente a 1 portanto:

$$Nu = 0,0027 * Re^{0,8} * Pr^{1/3} \quad (11)$$

Onde:

$$Re = (\rho * V * D) / \mu \quad (12)$$

$$Pr = (C_p * \mu) / K \quad (13)$$

3. EXEMPLO- PLANILHA EXCEL

O software é construído em planilha EXCEL e tem a finalidade de calcular a área de troca térmica necessária, através da inserção dos valores de temperatura de entrada e saída do fluido, vazão de alimentação, calor específico, densidade do fluido, viscosidade do fluido, constante de condutibilidade térmica, coeficiente de transferência de calor, diâmetro interno e externo do tubo, permitindo ao usuário escolher as propriedades de um dos fluidos, quente ou frio, o programa calcula as condições do outro fluido.

O programa permite ao usuário trabalhar tanto no sistema internacional como no inglês basta digitar o numero 1 ou 2 no espaço apontado.

Após a inserção dos dados na página inicial mostrada na Figura 2, basta clicar no desenho que está especificado como área de troca térmica que é calculado o valor correspondente.



Figura 2: Esquema da página inicial do programa

A área calculada e mostrada pela página mostrada na Figura 3, permitindo ao usuário a possibilidade de um novo cálculo. Para voltar à página inicial novamente basta clicar em voltar. O programa conta também com uma tecla de ajuda para auxiliar o usuário.

No plano 2 da planilha pode-se observar os cálculos do U, e no plano denominado como transformação de unidades, mostrado na Figura 4, pode-se realizar transformações de unidades.

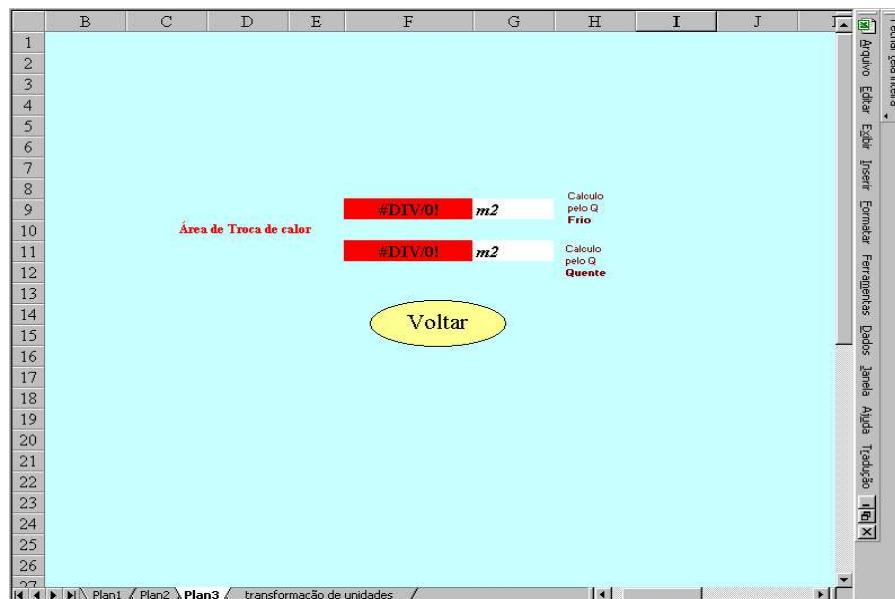


Figura 3: Esquema da página final do programa

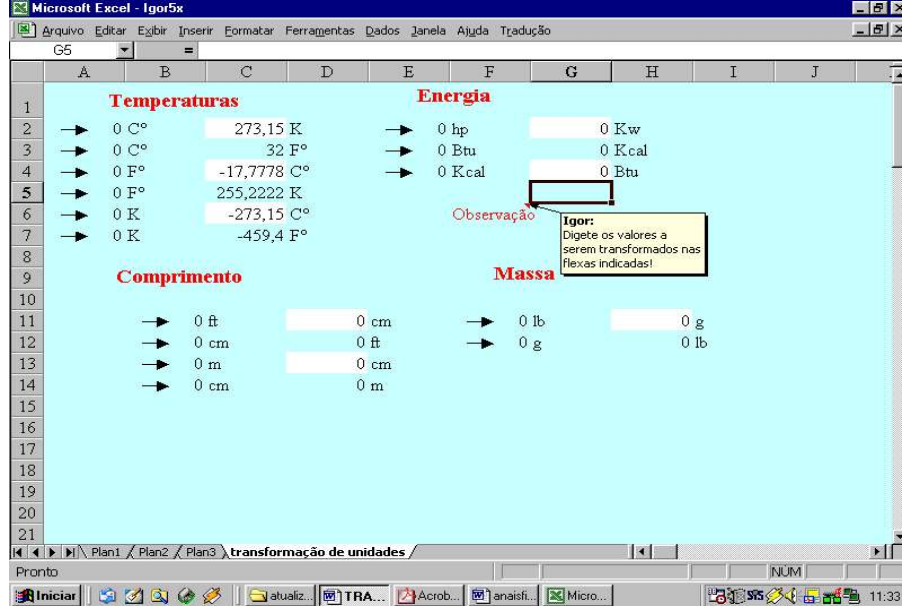


Figura 4: Transformação de unidades

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A necessidade de realizar vários cálculos, muitos deles repetitivos, torna bastante interessante o uso de programas que possibilitam fazê-los rapidamente. O software desenvolvido em Excel apresenta esta praticidade uma vez que a planilha já faz parte dos programas básicos instalados em um computador. Outra perspectiva é a sofisticação gradual do programa apresentado, onde se podem especificar outras características do equipamento ou dos fluidos utilizados para troca térmica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, E. C. C. **Trocadores de Calor – Série Apontamentos**, EduFSCar, 2002.

KERN, D.Q. **Processos de Transmissão de Calor**, Ed. Guanabara Dois, 1980.

GEANKOPLIS, C. J. **Transport Processes and Unit Operations**, Ed. Prentice Hall, 1993

PEREIRA, N. C.; MOTTA-LIMA, O. C. **Trocadores de calor, Operações Unitárias II – DEQ** s/d.

Abstract: *Actually with the great increase of the automation and creation of new technologies in the industry and academic middle it is had the need of the creation of new software that has the function of facilitating then more and more so many the industrial calculations, as the learning at academic level. The proposed work went to software creation in format EXCEL to a shell and tube exchanger, that one of the most used type in chemical and food industries. The obtained results show the efficiency of EXCEL, decreasing the necessary time considerably to the accomplishment of the referring calculations of shell and tube exchanger, and could be easily incorporated in the class room and also in industries wail there is a program of easy elaboration and operation.*

Key-words: *Excel, heat exchanger, Software*

