

ROTEIRO DE CÁLCULOS DE UM TROCADOR DE CALOR E ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DOS FLUIDOS EM CFD

CALCULATIONS SCRIPT OF A HEAT EXCHANGER AND FLUID BEHAVIOR ANALYSIS IN

CFD

Felipe Pisklevitz Laube¹
Salmo Mardegan²

RESUMO

Este trabalho tem o intuito de apresentar um roteiro de cálculos para um trocador de calor e realizar a análise do comportamento dos fluidos em CFD (computational fluids dynamic). Sendo assim este trabalho poderá ser utilizado por demais acadêmicos como um meio de facilitar a aprendizagem de disciplinas, e como um roteiro de cálculos para se desenvolver um trocador de calor. Para atingir estes objetivos, foi realizado pesquisas bibliográficas, assim obtendo as equações necessárias para realizar o roteiro de cálculos para um trocador de calor. E demonstra a análise em CFD, que foi desenvolvida utilizando o Ansys Academic onde esta ajuda a compreender o seu comportamento e foi desenvolvida após a realização de um exemplo. Com estes resultados alcançados conclui-se que o desenvolvimento deste trabalho alcança os seus objetivos e isto justifica o desenvolvimento do mesmo.

Palavras-Chave: Computational fluids dynamic, CFD, Ansys Academic, Trocador de calor.

ABSTRACT

The aim of this work is to present a calculation roadmap for a heat exchanger and

¹ Engenheiro Mecânico. Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Alto Vale do Rio do Peixe (UNIARP). email: (felipelaube@hotmail.com)

² Professor Orientador. Graduado em Engenharia, pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Mestrado em Engenharia de Produção, pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e docente do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Alto Vale do Rio do Peixe.

perform computational fluid dynamics analysis of CFD fluids. Therefore, this work can be used by other academics as a means to facilitate the learning of disciplines, and as a script of calculations to develop a heat exchanger. In order to achieve these objectives, bibliographical research was carried out, thus obtaining the equations necessary to perform the calculations script for a heat exchanger. It demonstrates the CFD analysis, which was developed using Ansys Academic where it helps to understand its behavior and was developed after an example. With these results achieved it is concluded that the development of this work reaches its objectives and this justifies the development of the same.

Keywords: CFD, Ansys Academic, heat exchanger.

INTRODUÇÃO

A área de estudo de transferência de massa e calor, vem sendo muito estudada. Os trocadores de calor estão sendo reelaborados para conseguir uma maior eficiência, sendo que o trocador de calor é um dispositivo usado para realizar o processo da troca térmica entre dois ou mais fluidos em diferentes temperaturas. Este processo é muito comum em diversas aplicações. Podemos utilizá-los no aquecimento e resfriamento de ambientes, no condicionamento de ar, na produção de energia, na recuperação de calor, na preservação de alimentos e no processo químico. Em virtude das muitas aplicações importantes, a pesquisa e o desenvolvimento dos trocadores de calor têm uma longa história, mas ainda hoje busca-se aperfeiçoar o projeto e o desempenho de trocadores, baseada na crescente preocupação pela conservação de energia (GANCHIS, 2007).

Neste trabalho, foi se desenvolvido dois sistemas de troca de calor, sendo este um trocador de calor bitubular, e seus cálculos foram idealizados tanto para um trocador de calor de escoamento paralelo e escoamento contracorrente. Um trocador normalmente envolve o escoamento de dois fluidos separados por uma parede sólida, o calor é transmitido do fluido quente para o fluido frio, através da parede, primeiro por convecção do fluido quente para a parede, por condução pela parede e por convecção para o fluido frio (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

No escoamento paralelo a diferença da temperatura dos fluidos quente e frio é grande na entrada do trocador, mas vai diminuindo exponencialmente em direção a saída (ÇENGEL; GHAJAR, 2012). É importante observar que nesse modelo de trocador de calor a temperatura de saída do fluido frio nunca pode ser superior

à do fluido quente (INCROPERA; DEWITT; BERGMAN, 2008). No de escoamento contracorrente diferentemente do trocador de calor de corrente paralela esse trocador realizada a troca térmica entre as partes mais quentes dos dois fluidos em uma extremidade, assim como a mais fria na outra extremidade. Portanto agora a temperatura de saída do fluido frio pode ser maior que a do fluido quente (INCROPERA; DEWITT; BERGMAN, 2008).

Para dimensionar o trocador de calor, tem como necessidade definir os dados iniciais dos fluidos, sendo estes: as medidas mecânicas do trocador de calor, a vazão mássica do fluido frio e do fluido quente, a temperatura de entrada de ambos os fluidos, a temperatura de saída do fluido quente, o calor específico de ambos os fluidos, a viscosidade de ambos, a massa específica e a condutividade térmica do fluido frio e do quente. Com estas informações iniciais pode se calcular a temperatura de saída do fluido frio, a taxa de transferência de calor e o comprimento do trocador tanto para o de escoamento paralelo quanto para o de escoamento cruzado. Para isto é necessário se idealizar diversos cálculos.

Sendo o primeiro calculo a ser idealizado é a taxa de transferência de calor, que é a transferência de calor entre o fluido quente e o fluido frio. E o segundo cálculo é determinar a temperatura de saída do fluido frio, para isto sabemos que a energia retirada do fluido quente é igual a energia recebida pelo fluido frio, sabendo o valor da energia transmitida de fluido para o outro consegue-se calcular a temperatura de saída do fluido frio.

A terceira etapa dos cálculos, é determinar a velocidade com qual os fluidos se deslocam pelo o trocador de calor, com este valor determinado é necessário se determinar o número de Reynolds de ambos os fluidos que é quarta etapa de dimensionamento de um trocador de calor.

O número de Reynolds determina se em um escoamento interno de um tubo é laminar, transição ou turbulento, o fluido quando entra no tubo inicialmente o seu escoamento na camada limite é laminar, mas quando os efeitos inerciais tornam-se grande o suficiente, aparecem pequenas perturbações no fluxo. À medida que aumentam essas perturbações o escoamento passa de laminar para turbulento (MSPC, 2016).

A quinta etapa de dimensionamento de um trocador de calor é determinar o seu número de Prandtl. O número de Prandtl fornece uma medida da efetividade

relativa dos transportes por difusão, de momento e de energia no interior das camadas limites de velocidade e térmica respectivamente (INCROPERA; DEWITT; BERGMAN, 2008).

A sexta etapa do dimensionamento é determinar o número de Nusselt. O número de Nusselt para o escoamento em tubulações para a engenharia são equações empíricas com base em resultados experimentais em experimentos de transferência de calor por convecção em tubulações (MSPC, 2016).

Com os valores de Reynolds, Prandtl e Nusselt se torna possível determinar o coeficiente de calor por convecção de ambos os fluidos. Sendo está a sétima etapa de dimensionamento de um trocador de calor bitubular. Assim a oitava etapa é a determinação das resistências térmicas no trocador de calor. A resistência térmica é proporcional ao fluxo de calor entre dois pontos que há uma diferença de temperatura (MATTJIE; RISTOF, 2016). Nesta etapa deve-se determinar as resistências térmicas por convecção condução e a resistência das incrustações. Incrustação é a precipitação de depósitos sólidos nas superfícies de transferência de calor. Outra forma comum de incrustações é a corrosão e na indústria química é a incrustação química. Os trocadores de calor também podem ser incrustados pelo crescimento de algas nos fluidos quentes (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

Com a determinação das resistências térmicas de um trocador de calor, chegamos na nona etapa de seu dimensionamento que é o coeficiente global de transferência de calor. Na análise de um trocador de calor é conveniente combinar todas as resistências térmicas em uma única resistência R e expressar a taxa de transferência de calor entre dois fluidos, sabendo que a unidade do coeficiente global de transferência de calor $W/m^2 \cdot ^\circ C$ (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

Assim chegamos a última etapa necessária para se dimensionar um trocador de calor que é determinar o seu comprimento. Como visto anteriormente tem-se duas opções de trocador de calor bitubular, fluxo paralelo e contracorrente. Assim, se faz necessário realizar os cálculos para as duas opções de trocadores de calor e determinar a qual delas se torna mais viável para aplicação.

Com o comprimento do trocador de calor determinado foi realizado uma análise em CFD, que torna possível observar o comportamento dos fluidos dentro do trocador de calor. A sigla CFD, do inglês Computational Fluid Dynamics, refere-se à mecânica de fluidos computacional. O CFD é um conjunto de modelos

matemáticos e métodos numéricos utilizados na análise de sistemas envolvendo o fluxo de fluido e a transferência de calor, consistindo em uma solução computacional por elementos finitos, o qual se baseia nas equações diferenciais que regem a mecânica dos fluidos.

Neste contexto o presente trabalho tem como objetivo principal criar um roteiro de cálculos de um trocador de calor pelo método clássico, e realizar a análise por CFD de seus fluidos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta etapa foi desenvolvido um roteiro de cálculos de um trocador de calor, sendo que para isto foi necessário inicialmente realizar o levantamento do referencial teórico necessário e após essa etapa foram estabelecidos os requisitos de projeto, sendo nesta primeira etapa definidos os dados de entrada para a realização dos cálculos. Na sequência foi apresentado o roteiro para idealizar um trocador de calor. Com a finalização dos cálculos, foi desenvolvido o desenho do trocador de calor e realizada a análise de CFD do mesmo.

ANÁLISE CFD

Assim com a resolução das dez etapas do roteiro de cálculos foi obtido o comprimento do trocador de calor bitubular, tanto de escoamento paralelo e de escoamento contracorrente. Com o comprimento do trocador de calor contracorrente é menor ele se tornaria mais viável para sua construção.

Assim tendo o comprimento do trocador de calor foi se idealizado o seu desenho no *Solidworks* que pode ser visto na figura 1.

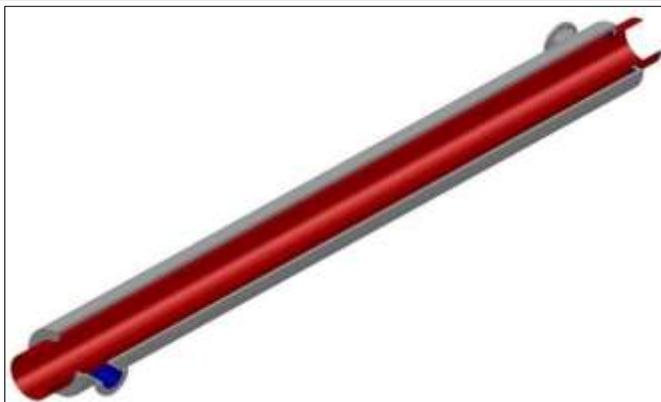


Figura 1 Desenho do Trocador de calor

Com o desenho idealizado foi realizado as suas simulações no *Ansys Academic*, sendo efetuado para ambos os fluidos. Para o fluido frio a figura 2 demonstra o seu comportamento dentro da tubulação.

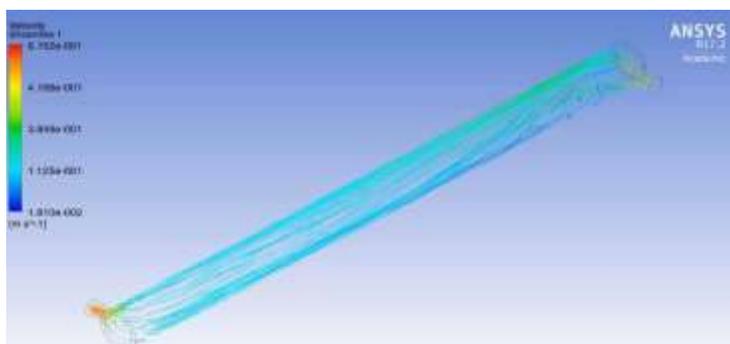


Figura 2. Comportamento do Fluido Frio

A figura 3 demonstra o comportamento do fluido quente.

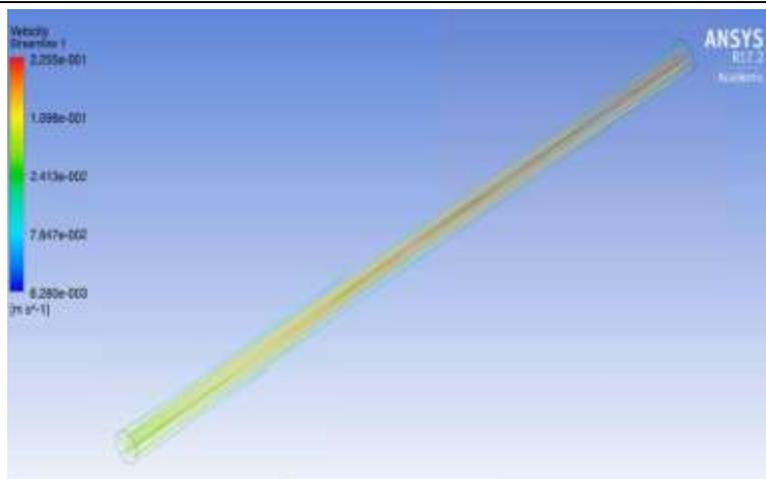


Figura 3. Comportamento do Fluido quente

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O desenvolvimento deste trabalho teve como intuito dimensionar um trocador de calor pelo método clássico e realizar a análise por elementos finitos (CFD) de suas partes. Com o objetivo de criar um roteiro de cálculo para facilitar o aprendizado de disciplinas do curso de engenharia mecânica, e ser um roteiro para a idealização de um trocador de calor.

Como visto, no desenvolvimento deste trabalho este objetivo foi alcançado. E a análise em CFD ajuda a compreender o comportamento dos fluidos que percorre o trocador de calor.

A obtenção das variáveis iniciais para o desenvolvimento deste projeto, se faz essencial, tendo que no primeiro momento definir os fluidos com o que o sistema trabalhará, e sua forma construtiva e material, para assim realizar os cálculos para desenvolver o trocador de calor.

Sendo que os dados obtidos no desenvolvimento do trocador de calor são aqui exibidos no quadro 1:

Taxa de transferência de calor Q_h igual Q_c	16808W
Temperatura de saída do fluido frio	24,5°C
Velocidade dos fluidos frio	0,128 m/s
Velocidade dos fluidos quente	0,0117 m/s
Reynolds fluido frio	7045,35
Reynolds fluido quente	5206,17
Prandtl fluido frio	6,251
Prandtl fluido quente	2,034
Nusselt para o fluido frio	55
Nusselt para o fluido quente	30,35
Coefficiente de calor por convecção para o fluido frio	666,6 W/m ² .°C
Coefficiente de calor por convecção para o fluido quente	136,312 W/m ² .°C
Fator de incrustação para o fluido frio	2×10^{-4} m ² .°C/W
Fator de incrustação para o fluido Quente	1×10^{-4} m ² .°C/W
Resistência térmica por condução	$3,906 \times 10^{-5}$ m ² .°C/W
Resistência térmica de convecção no fluido frio	$1,5 \times 10^{-3}$ m ² .°C/W
Resistência térmica de convecção no fluido quente	$7,34 \times 10^{-3}$ m ² .°C/W
Coefficiente global de transferência de calor	108,94 W/m ² .°C
Comprimento com o fluxo paralelo	5,191m
Comprimento com o fluxo contracorrente	5,167m

Quadro 1. Dados obtidos no desenvolvimento do roteiro de cálculos

Alterando algum dos dados de entrada como a vazão mássica, a temperatura de entrada e saída, o calor específico, a viscosidade, a massa específica, o diâmetro interno, o diâmetro externo e a condutividade térmica dos fluidos, assim como mudando os fluidos com o qual o sistema estará trabalhando, ocorrerá grandes modificações, dos valores aqui apresentados, sendo necessário refazer todos os cálculos aqui apresentados.

As simulações aqui demonstradas, representam o escoamento dos fluidos dentro do trocador de calor, demonstrando a sua velocidade e a turbulência por eles geradas, isso torna interessante, para análise do comportamento dos fluidos.

Por fim o desenvolvimento deste projeto atingiu os objetivos definidos, e assim poderá ser utilizado tanto para aprendizagem de disciplinas de transferência de massa e calor, como um roteiro para auxiliar em projetos de desenvolvimentos

deste tipo de equipamento

CONCLUSÃO

Com a finalidade de criar um roteiro para dimensionar um trocador de calor, na parte de troca térmica, foi desenvolvido este projeto, com o passo a passo de como o calcular. Visto que são amplamente aplicados na indústria, no aquecimento e resfriamento de ambientes, no condicionamento de ar, na produção de energia, na recuperação de calor, na preservação de alimentos e no processo químico. É de grande importância o estudo de trocadores de calor para desenvolver equipamentos que atendem a função para qual foram projetados.

Este trabalho teve como objetivo geral o dimensionamento de um trocador de calor pelo método clássico, e realizar a análise por elementos finitos de suas partes. Portanto o objetivo deste trabalho foi alcançado com sucesso. Assim criando um roteiro que auxilia no desenvolvimento de projeto de equipamentos e para aprendizagem de disciplinas do curso de engenharia mecânica, portanto ajudando a compreender o desenvolvimento dos cálculos para o trocador de calor. Além de demonstrar o comportamento do fluido dentro do trocador de calor.

REFERÊNCIAS

GANCHIS, Diógenes. **Trocadores de calor**. 2007. Centro Federal de Educação Tecnologia – CEFET/BA. Disponível em: <http://www.ifba.edu.br/professores/diogenesgaghis/TC_Transfer%C3%Aancia%20de%20Calor/Apostila%20de%20Trocadores%20de%20Calor.doc> Acesso em 22 de outubro de 2016.

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. **Transferência de calor e massa, uma abordagem prática**. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda 2012. 902 p.

INCROPERA, Frank; DEWITT, David; BERGMAN, Theodore. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 643 p.

MSPC – Informações Técnicas; **Transmissão de calor I-10**. 2008. Disponível em: <http://www.mspc.eng.br/termo/trc_0110.shtml> Acesso em: 19 de novembro de 2016

KREITH, F. **Princípios da transmissão de calor**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

MATTJIE, Clovis A.; RISTOF, Renato. **Dimensionamento de um trocador de calor para resfriamento de fluido em um circuito hidráulico utilizado em uma plantadeira**.

Disponível em: <http://www.fahor.com.br/publicacoes/TC/EngMec/2013/Mec_Clovis_Renato.pdf>

Acesso em: 24 de outubro de 2016.