

PROJETO DE UM REGENERADOR PARA UMA MICROTURBINA A GÁS

Túlio Simão Santos¹ (IC), Carlos Eymel C. Rodrigues (PQ)¹
Universidade Federal de Itajubá (Fonte: Times New Roman 9, em itálico).

Palavras-chave: Trocador de calor. Regenerador. Microturbina a gás. Eficiência energética.

Introdução

O trabalho apresentado trata-se do estudo e projeto de um regenerador para uma microturbina a gás, tendo como objetivo aumentar a eficiência energética do ciclo termodinâmico da máquina térmica em questão. Segundo Moran (2013), a temperatura de saída de uma microturbina a gás simples é, em geral, bem acima da temperatura ambiente, o que possibilita o aproveitamento dos gases de saída da turbina para aquecer o ar de entrada da câmara de combustão, proporcionando a diminuição de combustível utilizado. Para iniciar o projeto, foi usado o método comparativo de arranjos de trocadores de calor, a fim de selecionar o que garante maior eficiência, atrelado ao baixo custo e dentro das dimensões estabelecidas. Os processos de desenvolvimento consistiram na análise dos diferentes arranjos de trocadores; definição dos limites de espaço; encontrar artifícios para aumentar a área de troca térmica e o coeficiente convectivo de transferência de calor; etapa de pré-projeto; cálculos teóricos; e definição da geometria.

Metodologia

O projeto de um trocador de calor consiste essencialmente em determinar as dimensões e o arranjo a ser utilizado, levando em consideração as necessidades a serem atendidas. Com o foco principal de apresentar um projeto em escala reduzida, de dimensões próximas às da câmara de combustão apresentada por Nogueira (2022), buscou-se conhecer mecanismos que auxiliassem aumentar a área de troca térmica em um pequeno volume e aumentasse o coeficiente convectivo, o que levou a comparação de algumas configurações viáveis, dentre elas, a utilização de uma tubulação helicoidal, já que, de acordo com Incropera e Dewitt (2011), uma forma de obter a elevação do coeficiente de convecção é introduzir um movimento de rotação ao fluido. Além disso, a forma espiral proporciona um aumento da área superficial. A Figura 1 mostra a geometria descrita.

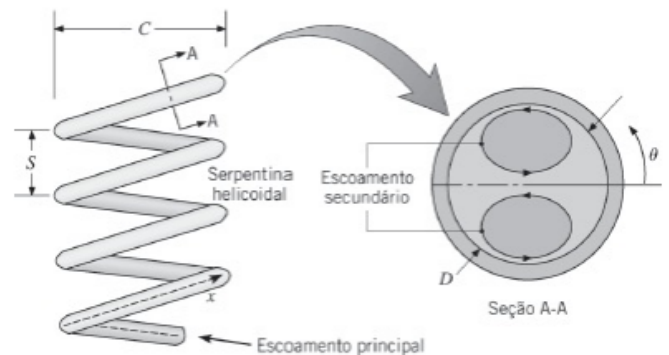


Figura 1 - Esquema de um tubo formando uma serpentina helicoidal. (Fonte: Incropera e Dewitt, 2011).

A fim de determinar a limitação de espaço, de modo que o trocador de calor em questão pudesse ser compacto e fácil de transportar junto com uma microturbina, havia a necessidade de garantir que o comprimento ficasse próximo a 330 mm e a altura fosse limitada a 400 mm. Com tais parâmetros estipulados, os dados de entrada de ar e gases da turbina foram selecionados de acordo com o projeto da câmara de combustão, de modo que para o ar de entrada, considerou-se os dados de saída do compressor, vistos na Tabela 1.

Compressor	
Dados de Saída	Valor
$RP_{it} = P_{02}/P_{01}$	3
P_{02} (kPa)	300,93525
T_{02} (K)	444,4027727
ρ_{02} (kg/m ³)	2,359469703
Q_2 (m ³ /s)	0,002542944
$H_{comp, iso}$ (m)	10879,7165
$H_{comp, iso}$ (ft)	35694,60796
n_{comp} (rpm)	370424,469

Tabela 1 - Dados de saída do compressor. (Fonte: Nogueira, 2022).

Os dados de entrada dos gases quentes foram encontrados a partir dos dados de saída da câmara de combustão, de modo que cálculos teóricos foram realizados. Os parâmetros supracitados são apresentados na Tabela 2.

Dados de saída da turbina		
T_{04} (K)	P_{04} (kPa)	m_{04} (kg/s)
955,625	102,54	0,0078064

Tabela 2 - Parâmetros de saída da turbina.
(Fonte: Autoria própria).

Na etapa de avaliação do design utilizado para o trocador de calor, buscou-se uma configuração que garantisse alta capacidade de troca térmica; baixa quantidade de material a ser utilizado, para reduzir o custo; e facilidade de obtenção de materiais no mercado. O fator preferencial para a escolha foi a baixa quantidade de material utilizado em uma área reduzida. Com base nos limites estabelecidos, foi realizado um pré-projeto que levou em conta a vazão mássica e área do ar que entra na câmara de combustão, de modo que um diâmetro de 35 mm para o tubo seria adequado para a passagem de ar a ser aquecido, porém não seria viável para o espaço solicitado, necessitando utilizar um diâmetro menor.

Para seleção do material, o atributo de maior relevância para a tubulação interna foi a alta taxa de condução térmica e para as duas partes do equipamento, a resistência a elevadas temperaturas foi o fator determinante. Os materiais comparados podem ser vistos na Tabela 3.

Material	Temperatura de fusão (°C)	Condutividade térmica a 25°C (W/(m.°C))	Custo por tonelada (US\$/t)
Zinco	419,5	116	3193,44
Cobre	1085	401	7798,76
Alumínio	660,3	204	2253,26

Tabela 3 - Comparação entre os materiais.
(Fonte: ACOMPANHAMENTO..., 2022).

A partir dos valores já estabelecidos, os dados de saída de ambos os fluidos e a taxa de transferência de calor foram obtidos, com auxílio do método da Média logarítmica da diferença de temperatura (MLDT). A fim de verificar a área necessária para conseguir a maior eficiência possível, foi utilizado o método da Efetividade NTU, considerando a configuração em fluxo cruzado.

As ferramentas principais para realização dos cálculos foram o “SMath Solver” e o software “Solidworks”, utilizado para realização projeto da geometria.

Resultados e discussão

A partir dos dados de entrada mostrados, os parâmetros do trocador de calor são encontrados e o dimensionamento é realizado.

O tipo de trocador de calor selecionado foi o de tubo interno helicoidal, dado que essa configuração intensifica a taxa de transferência de calor com o aumento da área superficial e a indução de movimento rotacional (INCROPERA E DEWITT, 2011). Devido a limitação de espaço, optou-se por um diâmetro externo de 30 mm e diâmetro interno de 29 mm, sendo que, para o comprimento total do trocador, garantindo que haveria fluxo fluido quente entre o passo da serpentina helicoidal, foi de 6603 mm. É possível visualizar o interior do trocador de calor através da Figura 2.

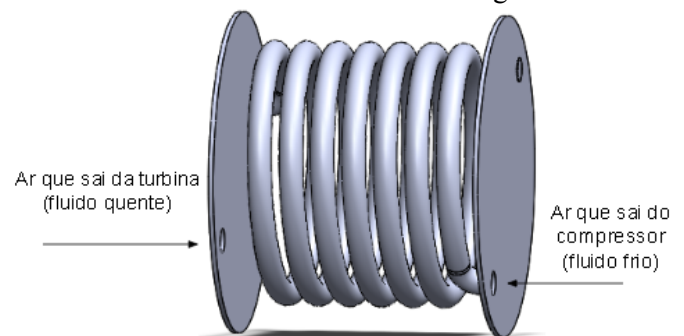


Figura 2 - Visualização interna do trocador de calor.
(Fonte: Autoria própria).

As informações para determinação do campo de velocidade, coeficiente convectivo, número de Reynolds e Nusselt, para determinação dos parâmetros de saída na parte externa do tubo helicoidal, estão relacionadas ao passo transversal (St), passo longitudinal (Sl), alinhamento das espiras, número total de tubos (N), considerando uma única face, e número de tubos por linha (Nt). A Tabela 3 evidencia tais dados.

Lado externo do tubo helicoidal		
Área	$A (m^2)$	0,1195
Passo transversal	$S_t (mm)$	270,67
Passo longitudinal	$S_l (mm)$	10
Vazão volumétrica	$Q_g (m^3/s)$	0,0064
Velocidade do fluido	$V (m/s)$	0,0299
Reynolds	Re	402,03
Nusselt	Nu	99,27
Coefficiente de convecção externo	$h_e (W/(m^2.K))$	7,6362
Temperatura de saída	$T(K)$	847,45
Taxa de transferência de calor	$q (W)$	903,475

Tabela 3 - Dados do escoamento do lado externo.
(Fonte: Autoria própria).

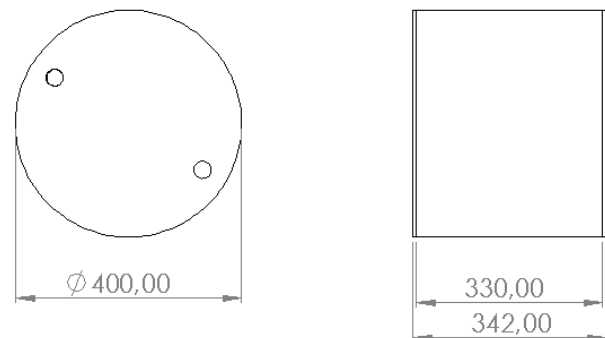


Figura 3 - Dimensões externas em milímetros.
(Fonte: Autoria própria).

As mesmas informações são obtidas para o escoamento no interior do tubo helicoidal.

Lado interno do tubo helicoidal		
Área	$A (m^2)$	0,6016
Densidade do ar a T=444K	$\rho (kg/m^3)$	2,359
Vazão volumétrica	$Q_i (m^3/s)$	0,0025
Velocidade do fluido	$V (m/s)$	2,5101
Reynolds	Re	10881,189
Nusselt	Nu	52,348
Coefficiente de convecção externo	$h_i (W/(m^2.K))$	54,153
Temperatura de saída	$T(K)$	583,93

Tabela 6 - Dados do escoamento no lado interno.
(Fonte: Autoria própria).

Com a estimativa da máxima transferência de calor que poderíamos alcançar ($q_{max} = 3299,317 W$) e utilizando o método da efetividade, podemos chegar a um valor de eficiência para o trocador de calor igual a 27,38 %. A eficiência máxima não pode ser alcançada devido a limitação da área de troca térmica. Para esse equipamento, de mesmo diâmetro interno, seria necessário um comprimento de tubo próximo a 30 metros.

O fluido quente e frio entram em lados opostos no trocador de calor, de modo que enquanto o fluido frio está escoando no interior do tubo helicoidal, o fluido quente está escoando de forma cruzada.

O material selecionado para o tubo helicoidal foi o cobre, tendo em vista que ele possui alto coeficiente de condução térmica, de forma que a parcela da resistência térmica de condução na parede de um milímetro pode ser desprezada. Além disso, apesar do alto custo, a quantidade de material utilizado não será tão grande a ponto de deixar o projeto caro, e o ponto de fusão desse material é alto suficiente para resistir às temperaturas solicitadas.

Para o tubo externo, um material de elevada condutividade térmica não é interessante, porém, os materiais analisados não possuem alto ponto de fusão, que é necessário para essa aplicação. Dessa forma, uma alternativa barata e de e eficiente pode ser viável, que é o uso de cerâmica no lado externo e um revestimento de algodão no interior, para diminuir a dissipação do calor. Mas tal alternativa ainda precisa ser analisada..

Conclusões

Este trabalho apresentou um projeto de um trocador de calor com o objetivo de aumentar a temperatura do ar que sai do compressor e entra na câmara de combustão, a fim de aumentar a eficiência de uma microturbina a gás, visto que a temperatura de entrada na câmara de combustão mais elevada está diretamente relacionado ao gasto de combustível, de modo que quanto menor a temperatura do ar de entrada, maior deve ser a quantidade de combustível no interior da câmara de combustão.

Ademais, foi apresentado uma design de baixo custo e viável para ser aplicado em sistemas de geração de energia local, podendo ser de forma sustentável, já que a aplicação desse dispositivo pode estar vinculada a uma microturbina a gás movida a biogás. O incentivo a

geração de energia distribuída é de fundamental importância para o país, visando uma mudança da matriz energética.

As várias configurações e classificações de trocadores de calor apresentados na pesquisa, mostrou que podem existir inúmeras possibilidades de design para serem avaliados do ponto de vista térmico e econômico. O modelo desenvolvido, apesar da limitação de espaço, apresentou uma área de transferência de calor satisfatória, possibilitando uma elevação de temperatura de mais de 130°C, o que mostra a viabilidade do projeto.

O trabalho em questão também contribuiu fortemente para aquisição de novos conhecimentos relacionados ao tema e métodos de projetos eficientes. Foi visto, que cada projeto térmico possui uma peculiaridade, de modo que, prever com exatidão o comportamento do equipamento é complexo e demanda várias interações. Porém, recursos computacionais auxiliam bastante nesse aspecto. Do ponto de vista profissional, a experiência de projetar um componente de um sistema de geração de energia foi de fundamental importância para elevar o grau de expertise a respeito do assunto, contribuindo para estar mais bem preparado para o mercado de trabalho e desenvolvimento de novas pesquisas.

Agradecimento

Gostaria de agradecer ao CNPq, pelo incentivo e por ter proporcionado os recursos necessários para o desenvolvimento do trabalho e ao professor Doutor Carlos Eymael Campos Rodriguez pela orientação.

Referências

ACOMPANHAMENTO da LME e Dólar. Shockmetais: Shockmetais, 24 set. 2022. Disponível em: <https://shockmetais.com.br/lme>. Acesso em: 24 set. 2022.

INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. Rio de Janeiro: Grupo Editorial Nacional, 2011

MORAN, Michael J.; SHAPIRO, Howard N.; BOETTNER, Daisie D. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. Grupo Gen-LTC, 2013.

NOGUEIRA, Matheus de Paiva. **Comparativo da geração de energia em adiante de turbinas axiais alterando a câmara de combustão: Projeto básico de uma ultra micro câmara de combustão**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, Itabira, 2022.