

Código: P047

①

Título: Sistemas de Geração de Potência e Cogeração a Gás

* Introdução

Os sistemas de geração de potência não amplamente utilizados ~~em~~ ^{em} âmbito industrial. ~~São~~ Considerando as turbinas a gás, essas utilizam geralmente de combustíveis fósseis (como é o gás natural) para acionar o turbo-compressor presente no equipamento. Calor esse que vem da câmara, através da queima de combustível.

Já os sistemas de cogeração se utilizam de parte de um calor do processo para agregar kilowatts ^{em} um processo industrial de interesse. Isso proporciona uma eficiência que pode estar em torno de 60-80%, enquanto as turbinas a gás estão em torno de 30-40%. Dessa forma, o objetivo desse texto é a modelagem das turbinas a gás.

* Desenvolvimento

- Ciclo de Carnot

Quando se trata de ciclos termodinâmicos, temos que ter em mente o limite no qual os ciclos podem trabalhar. Esse limite é a eficiência de Carnot, dado dos reservatórios frio (C) e quente (H). A eficiência é definida por: $\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H}$

3

Para obter as quantidades do ciclo (potências) utiliza-se as seguintes relações, onde $\dot{m}$ é a vazão mássica e h a entalpia:

$$\text{Trabalho no Compressor: } \dot{W}_C = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

$$\text{Trabalho na Turbina: } \dot{W}_T = \dot{m} (h_3 - h_4)$$

$$\text{Calor na Câmara: } \dot{Q}_E = \dot{m} (h_3 - h_2)$$

$$\text{Calor Rejeitado no ambiente: } \dot{Q}_R = \dot{m} (h_4 - h_1)$$

Porém, a modelagem para um ciclo Ar-Padrão Frio de Brayton têm algumas considerações:

(1) O fluido de trabalho é o ar e ele se comporta como um gás perfeito.

(2) O calor específico ~~na~~ ~~em~~ utilizado no ciclo é o do ar frio (em condições reais ele varia com a temperatura).

Dessa forma, pode-se simplificar:

$$\text{Trabalho no Compressor: } \dot{W}_C = \dot{m} c_p (T_2 - T_1)$$

$$\text{Trabalho na Turbina: } \dot{W}_T = \dot{m} c_p (T_3 - T_4)$$

$$\text{Calor na Câmara: } \dot{Q}_E = \dot{m} c_p (T_3 - T_2)$$

$$\text{Calor Rejeitado no ambiente: } \dot{Q}_R = \dot{m} c_p (T_4 - T_1)$$

Onde T é a temperatura e c_p é o calor específico a pressão constante.

As temperaturas podem ser obtidas através da seguinte relação (gás perfeito):

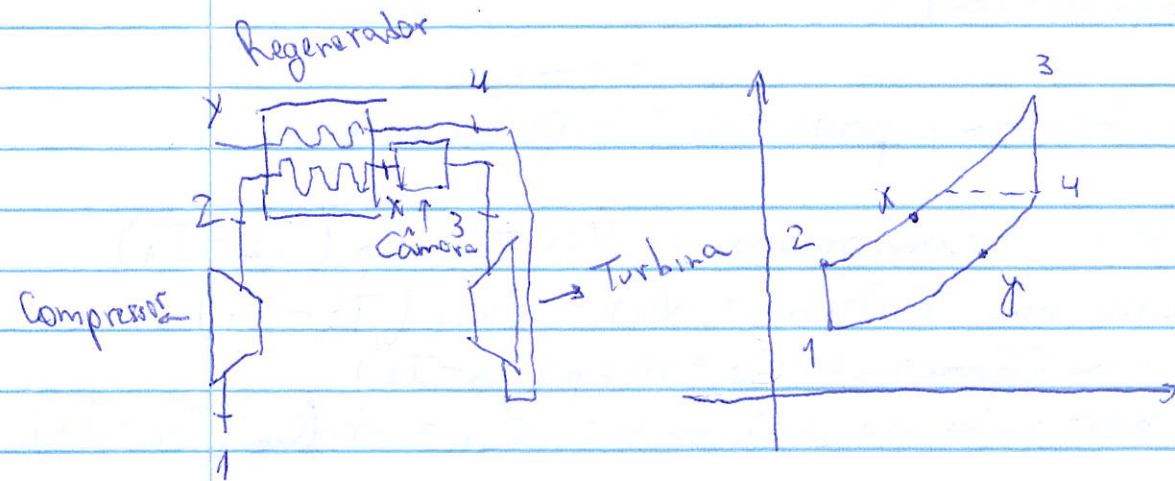
4

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}, \quad \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad \eta = \frac{\dot{W}_T - \dot{W}_C}{\dot{Q}_E}$$

onde p é a pressão de cada estado e k é o coeficiente politrópico, definido como $k = \frac{c_p}{c_v}$, onde c_v é o calor específico a volume constante, η é a eficiência

- Melhorias no Ciclo Brayton

Uma das mais importantes melhorias do ciclo Brayton é a regeneração. Acontece que, na exaustão dos gases de combustão desse ciclo, é possível obter temperaturas bem elevadas, em torno de 600°C ou mais. Essa energia não pode ser perdida, então entra a regeneração. Considere o ciclo abaixo:



Parte do calor de exaustão é aproveitado para pré-aquecer a entrada após a compressão, que passa do estado (2) para (x). A eficiência do ciclo é aumentada.

Vantagens da Regeneração:

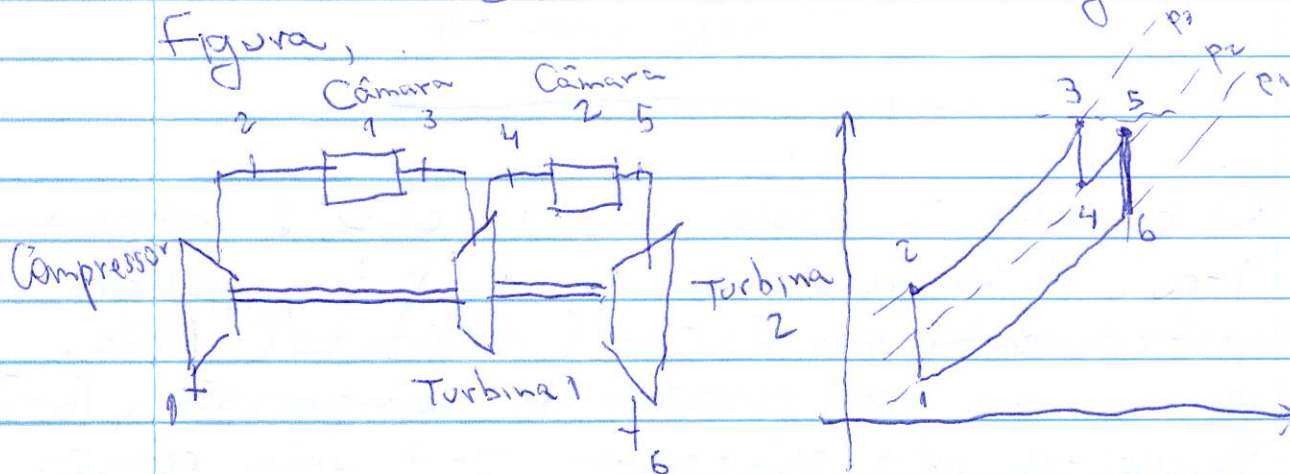
- { Aumento da Eficiência
- { Redução de Emissões
- { Redução de Combustível

Desvantagens da Regeneração:

- { Aumento da Complexidade para
- { Necessidades de Equipamento para Altas Temperaturas
- { Perda de Carga no Trocador

Outras melhorias que as ~~as~~ turbinas a gás podem passar é o reaquecimento e o interresfriamento. Ambas melhorias, por si só, não aumentam a eficiência global do ciclo. Porém, quando combinado com os regeneradores, esses contribuem mais na saída.

O reaquecimento também é utilizado para aumentar a temperatura média de adição de calor. De acordo com o diagrama e a figura,

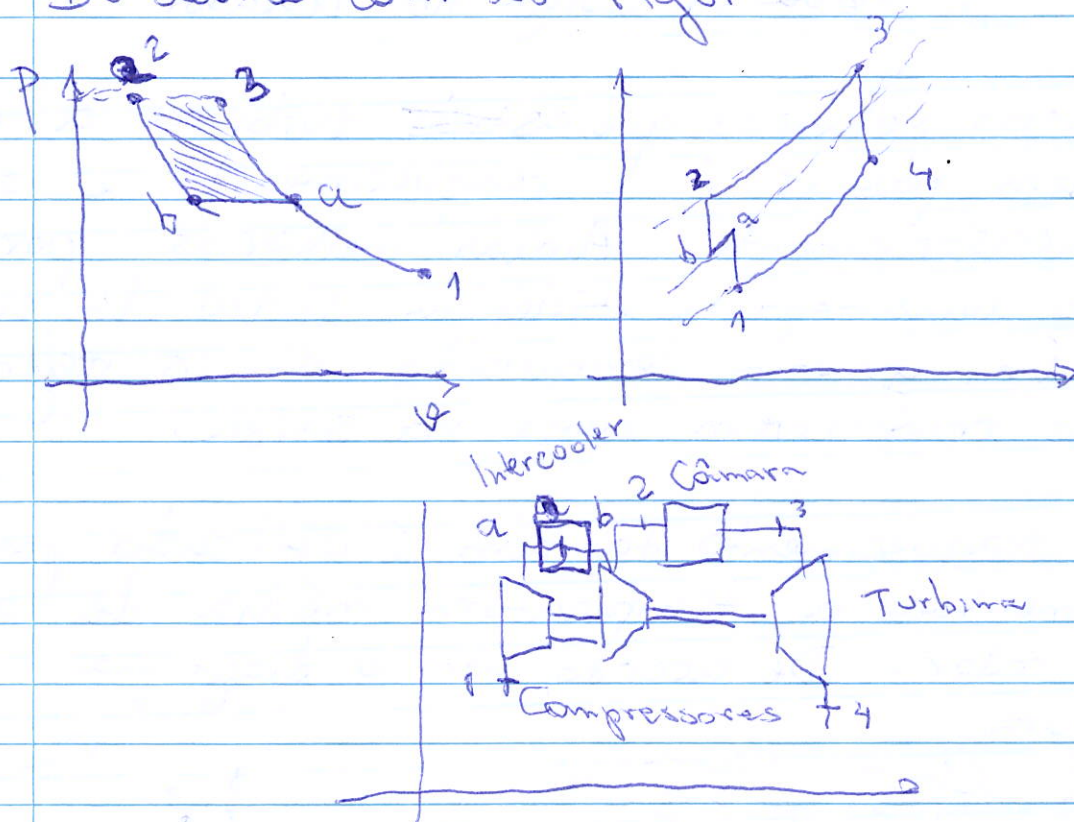


6

é possível identificar dois processos de expansão e uma pressão intermediária de operação. Devido ao limite metalúrgico da turbina, é interessante operar em dois estágios de combustão para não ocorrer falhas com frequência. (limite de temperatura máxima).

O interresfriamento é dado por dois estágios de compressão com o intercooler.

De acordo com as Figuras:



O processo se inicia em 1, onde é comprimido 1-a. A compressão é interrompida e um resfriamento no fluido é realizado (a-b). Após, temos mais um processo de compressão, (b-2). Percebe-se pelo diagrama p-v uma redução no trabalho realizado pelo compressor.

como temos uma redução de área do gráfico $p-v$, em hachurado.

- Cogeração

A turbina a gás emite um alto valor energético e exergético na saída (exaustão). Além da regeneração e suas melhorias, é possível utilizá-la para gerar energia térmica para algum processo de interesse.

~~Além~~ Processos como chiller à absorção e outros processos químicos e na indústria alimentícia são necessários fontes de calor para produzir.

Dessa forma, a eficiência do processo pode subir consideravelmente.

Uma ~~sistema de Brayton~~ turbina a gás possui eficiências na faixa de 30-40%. Quando considerado a cogeração, redefinirmos a eficiência:

$$\begin{array}{ll} \text{Turbina a gás} & \eta_T = \frac{W_{\text{turb}}}{Q_E} \\ \text{sem cogeração} & \end{array} \quad \begin{array}{ll} \text{Com} & \eta_C = \frac{Q_P + W_{\text{turb}}}{Q_E} \\ \text{cogeração} & \end{array}$$

A cogeração está na faixa dos 60%-80%, onde η_T e η_C são a eficiência da turbina e eficiência de cogeração, W_{turb} é o trabalho líquido, Q_P é o calor do processo, Q_E é o calor do combustível. O que gera benefícios a sustentabilidade do método.

- Backwork Ratio

O backwork ratio é a razão do que se gasta no compressor para o que se produz na turbina. Definido formalmente como:

$$bwr = \frac{\dot{W}_c}{\dot{W}_T}$$

Para esse tipo de sistema, o bwr é alto, o que implica uma alta energia deve ser utilizada para gerar energia. Comparado com sistemas que usam bomba, como é os sistemas a vapor.

* Conclusão

Esse texto descreve as características da geração de potência a gás, considerando primariamente as turbinas a gás e sua modelagem.

Foi possível definir características, modelagem, limites teóricos e as melhorias dos ciclos, como é a regeneração, reaquecimento, e interresfriamento.

Os maiores desafios desse tipo de tecnologia é aumentar a eficiência, gerando sustentabilidade ao processo industrial.