

SISTEMAS TÉRMICOS DE POTÊNCIA

PROF. RAMÓN SILVA



Engenharia de Energia

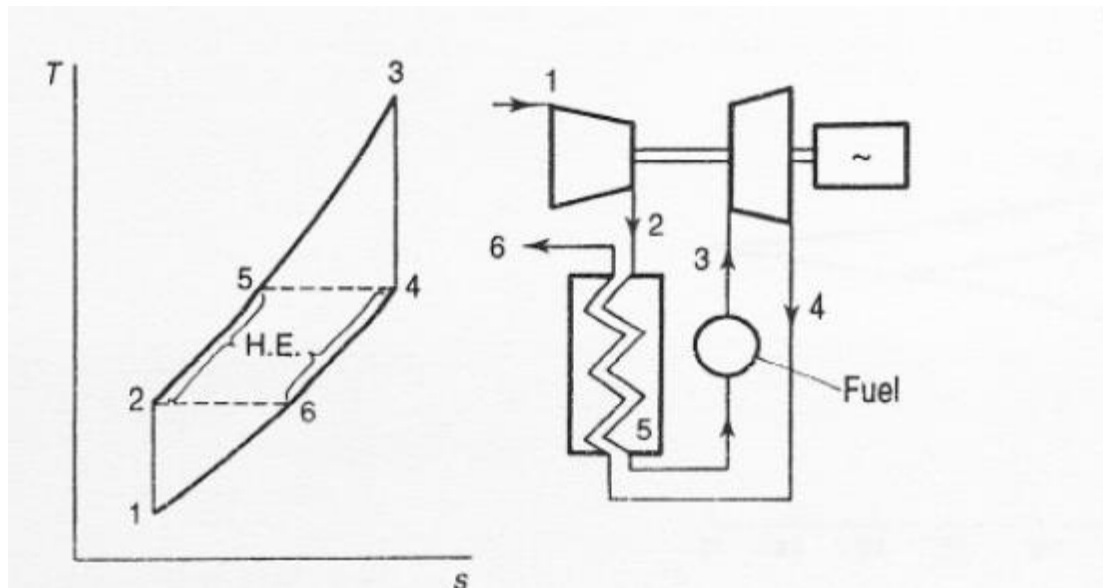
Dourados MS - 2013



CICLO REGENERATIVO

CICLO REGENERATIVO

- No ciclo regenerativo há a montagem de um trocador de calor entre a saída do compressor e a entrada do combustor para aproveitar a temperatura dos gases de combustão.



CICLO REGENERATIVO

- Exercício 2.4 - Para uma turbina de ciclo regenerativo operando segundo as condições abaixo, determinar o consumo específico e a eficiência do ciclo.

CICLO REGENERATIVO

Ambiente		
Temperatura	288	
Pressão	101325	Pa
Compressor		
Razão de compressão	4	
Eficiência isoentrópica	85	%
Câmara de Combustão		
Perda de pressão total	2	%
PCI do Combustível (querosene)	41	MJ/kg
Eficiência de combustão	98	%
Turbina		
Eficiência isoentrópica	87	K
Temperatura de entrada na turbina (TIT) máxima	1190	K

CICLO REGENERATIVO

Geral		
Eficiência mecânica do motor	99	%
Calor específico a pressão constante – parte fria	1004,5	J/kg K
Calor específico a pressão constante – parte quente	1148,9	J/kg K
Constante do ar	287	J/kg K
Razão entre calores específicos - frio	1,4	
Razão entre calores específicos - quente	1,33	
Trocador de Calor		
Eficiência do trocador	80	%
Perda de pressão no lado ar	3	%
Perda de pressão no lado gases	4000	Pa

CICLO REGENERATIVO

○ Compressor

- Rearranjando as seguintes equações

$$T_2' = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad \eta_{comp} = \frac{T_2' - T_1}{T_2 - T_1}$$

- Temos

$$T_2 = T_1 \left[1 + \frac{1}{\eta_{comp}} \left(\frac{P_2}{P_1} - 1 \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] = 288 \cdot \left[1 + \frac{1}{0,85} \left(4^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right) \right] = 452,67 K$$

CICLO REGENERATIVO

○ Compressor

- O trabalho na turbina requerido para acionar o compressor.

$$W_{comp} = c_{p,f} \cdot (T_2 - T_1) = 1004,5 \cdot (452,67 - 288) = 1,65 \cdot 10^5 \text{ J / kg}$$

- Notar que o trabalho foi definido por unidade de vazão mássica.

CICLO REGENERATIVO

- A pressão na entrada da turbina é a pressão na saída do compressor descontadas as perdas de pressão no lado ar do trocador de calor e da câmara de combustão.

$$P_3 = P_2 \cdot (1 - \Delta P_{TCar} - \Delta P_{cc}) = 4.101325 \cdot (1 - 0,02 - 0,03) = 3,85 \cdot 10^5 Pa$$



CICLO REGENERATIVO

- A pressão na entrada da câmara de combustão é:

$$P_5 = P_2 \cdot (1 - \Delta P_{TCar}) = 4.101325 \cdot (1 - 0,02) = 3,97 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

CICLO REGENERATIVO

- Considerando-se a expansão total dos gases, a pressão na saída da turbina deve ser a pressão atmosférica acrescida da perda de carga no lado dos gases do trocador.

$$P_4 = P_2 + \Delta P_{TC_{gases}} = 101325 + 4000 = 1,053 \cdot 10^7 \text{ Pa}$$

CICLO REGENERATIVO

- A razão de expansão da turbina é

$$RE = \frac{P_3}{P_4} = 3,656$$

CICLO REGENERATIVO

- A diferença de temperatura na turbina é definida.

$$\Delta T_{turb} = \eta_{turb} \cdot TIT \cdot \left[1 - \left(\frac{1}{RE} \right)^{\frac{k_q - 1}{k_q}} \right] = 0,87 \cdot 1100 \cdot \left[1 - \left(\frac{1}{3,656} \right)^{\frac{1,33 - 1}{1,33}} \right] = 263,21K$$

CICLO REGENERATIVO

- E o trabalho total da turbina por unidade de vazão de massa é:

$$W_{turb} = c_{p,q} \cdot (T_3 - T_4) = 1148.263,21 = 3,024 \cdot 10^5 \text{ J / kg}$$

CICLO REGENERATIVO

- Considerando-se o fluxo de massa constante no ciclo, ou seja considerando-se que o fluxo de ar seja muito maior que o fluxo de combustível calcula-se o trabalho líquido.

$$W_{liq} = W_{turb} - W_{comp} = 3,024 \cdot 10^5 - 1,65 \cdot 10^5 = 1,37 \cdot 10^5 \text{ J / kg}$$



CICLO REGENERATIVO

- Um número típico de consumo de combustível para uma turbina de 1 MW é 7,3 kg/s. Para encontrar o valor real de consumo de combustível primeiro devemos encontrar o aumento de temperatura na câmara (T_3-T_5).

CICLO REGENERATIVO

- A efetividade do trocador de calor é 80%.

$$\eta_{tc} = \frac{T_5 - T_2}{T_4 - T_2}$$

$$T_4 = TIT - \Delta T_{turb} = 1100 - 263,21 = 836,73K$$

$$T_5 = \eta_{tc} \cdot (T_4 - T_2) + T_2 = 0,80 \cdot (836,73 - 452,67) + 452,67 = 759,96K$$

CICLO REGENERATIVO

- O aumento de temperatura na câmara de combustão é

$$\Delta T_{cc} = (TIT - T_5) = 1100 - 759,96 = 340,05K$$

CICLO REGENERATIVO

- A razão ar/combustível calculada pela Equação 2.22 é: $f = 0,0097$.

$$sfc = \frac{f \cdot 3600 \cdot 100}{W_{liq}} = \frac{0,097 \cdot 3600 \cdot 1000}{1,37 \cdot 10^5} = 0,256 \text{ kg} / \text{kW} \cdot \text{h}$$

CICLO REGENERATIVO

- E a eficiência

$$\eta_{eng} = \frac{3600.1000}{sfc.PCI} = \frac{3600.1000}{0,256.41.10^6} = 0,344 = 34,4\%$$



BIBLIOGRAFIA

Barbosa, J – MEM 41 – Notas de aula

Boyce, M. P. Gas turbine engineering handbook Boston Gulf, ;
c2006. 936 p. : il.

Cohen, H. Rogers, G.F.C. Saravanamuttoo, H.I.H., Gas turbine
theory.E, Pearson, 5th Ed. 2001