

**PME 5237 – FUNDAMENTOS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS**  
**EPUSP – Escola Politécnica da USP – Depto. Enga. Mecânica**  
**SISEA – Lab. de Sistemas Energéticos Alternativos**

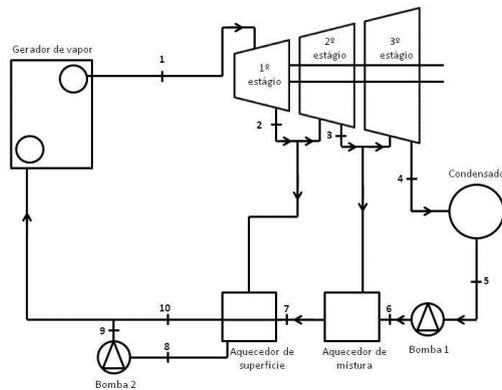
Lista 1 – para ser entregue em 03/10/2018 – prof. Simões

1 – Um reservatório rígido contém água nas fases líquido e vapor em equilíbrio. A água no estado líquido ocupa 0,1 % do volume total de 1 litro. Pede-se o volume específico da fase líquida, da fase vapor e o volume específico (médio) da mistura líquido-vapor. Qual o título da mistura?

Dados: a densidade (ou massa específica) da fase vapor =  $0,0231 \text{ kg/m}^3$  e da fase líquida =  $1000 \text{ kg/m}^3$ .

2- Uma central termoelétrica opera com um ciclo a vapor com dois aquecedores de água, um de mistura (ou de contato direto) e um de superfície. Vapor entra no primeiro estágio da turbina a 10MPa, 600°C (estado 1) e expande em três estágios para o condensador que opera a 40°C (estado 4). Entre o primeiro e o segundo estágios de expansão, uma parte do vapor é extraído (estado 2) e direcionado para o aquecedor de superfície que opera a 1MPa, sendo o condensado (líquido saturado - estado 8) bombeado para a linha de alimentação da caldeira (estado 9) após este aquecedor. A água sai do aquecedor de superfície a 10MPa e 170°C (estado 10). Vapor é extraído entre o segundo e terceiro estágios da turbina a 0,2MPa (estado 3) e é direcionado para o aquecedor de mistura, que opera nesta mesma pressão. A água sai do aquecedor de mistura como líquido saturado (estado 7). Cada estágio da turbina tem eficiência isoentrópica de 82% e as bombas 100%. A água sai do condensador como líquido saturado (estado 5). Despreze as perdas de carga no sistema. Pede-se:

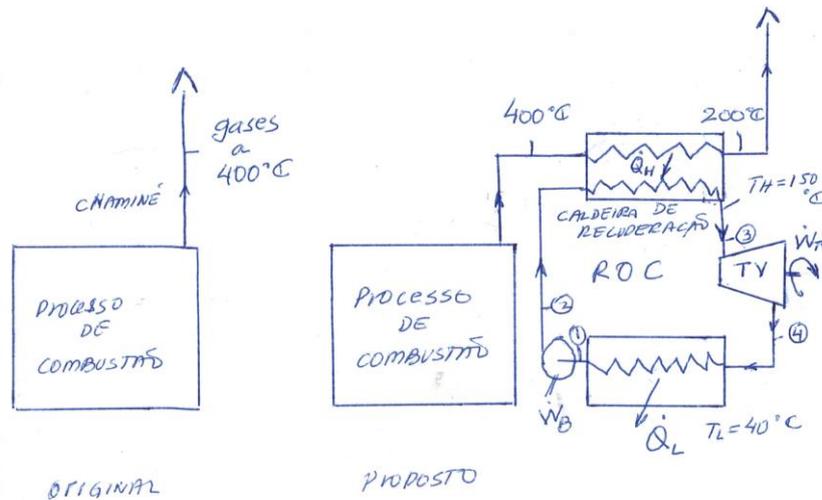
- a) a eficiência térmica do ciclo
- b) a vazão mássica de vapor no primeiro estágio da turbina (kg/h) para produção de uma potência líquida de 320MW.



3 – Você, como consultor de engenharia, foi chamado para fazer o projeto conceitual de um sistema de recuperação de energia térmica (“calor”) dos gases de exaustão de um processo de combustão qualquer. Originalmente, os gases de combustão são lançados na atmosfera (1 bar) a 400 °C. Após uma breve análise, você chegou a conclusão de que poderia recuperar essa energia térmica por meio de um ciclo orgânico de Rankine ou ROC (“Rankine organic cycle” em inglês). Os esquemas original e proposto estão mostrados na figura abaixo. Para efeito de cálculo, considere que os gases de combustão têm as propriedades térmicas do gás nitrogênio e são constantes.

Considerando o rebaixamento da temperatura de 400 °C para 200 °C e a vazão volumétrica de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  (na temperatura de 400 °C), qual seria o fluxo de calor “recuperado” ( $\dot{Q}_H$ )?

**PME 5237 – FUNDAMENTOS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS**  
**EPUSP – Escola Politécnica da USP – Depto. Enga. Mecânica**  
**SISEA – Lab. de Sistemas Energéticos Alternativos**



Esse fluxo de calor recuperado é transferido, sem qualquer perda, para vaporizar o fluido de trabalho do ROC que mudará de fase a 150 °C. Supondo que o condensador desse ciclo opere a 40 °C, qual seria a máxima eficiência térmica possível?

Agora selecione um fluido de trabalho e indique no diagrama *T-s* os estados (1-4) e processos relevantes para esse ciclo supondo que a turbina a vapor (poderia ser outra máquina de expansão também) tenha uma eficiência de 90% e a bomba, 100%. Indique os valores de pressão e temperatura, bem como calcule a vazão mássica do fluido de trabalho. Calcule a eficiência térmica do ciclo e as potências de eixo e líquida produzidas ( $\dot{W}_{TV}$  e  $\dot{W}_{liq}$ )?

Refaça os mesmos cálculos tendo a água como fluido de trabalho.

Faça uma breve pesquisa na internet e localize um ou mais fornecedores de ROC para essas condições operacionais.

4 – Considerando o exemplo 2.10 do livro-texto, suponha que o processo de compressão ocorra em dois estágios com resfriamento intermediário até a temperatura inicial. Suponha que o ar esteja a 300 K e  $P=1$  bar e que sofra o processo de compressão estagiada mencionado até 10 bar. A fim de aproveitar o resfriamento que o ar sofre ao se expandir pelo turbo-expansor isoentrópico, fixe a sua temperatura de descarga em -30 °C. Admita eficiência isoentrópica de 80% para cada estágio de compressão e de 85% para o turbo-expansor. Nessas condições, pede-se:

- Qual a pressão intermediária ideal (a que minimiza o trabalho total de compressão) caso o compressor seja isoentrópico.
- Idem ao item anterior, para o compressor real com a eficiência indicada.
- Qual a temperatura final do processo de aquecimento do ar no sistema solar que, na sequência, sofrerá o processo de expansão?
- Qual a eficiência térmica dos ciclos ideal (isoentrópico) e do real?
- Qual a vazão mássica de ar para produzir 1 kW de trabalho líquido do ciclo para os casos ideal (isoentrópico) e real?