



LISTA DE EXERCÍCIOS III

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

Conservação de Massa e Energia

Engenharia Química – 16/01/2018

Prof. Irineu Petri Júnior



1) Um óleo combustível é queimado com ar em uma caldeira. A combustão produz 813 kW de energia térmica, 65% da qual é transferida como calor aos tubos da caldeira que passam através da fornalha. Os produtos de combustão passam da fornalha para uma chaminé a 650°C. A água entra na caldeira como líquido a 20°C e sai como vapor saturado a 20 bar (absoluto).

- Calcule a taxa (kg/h) de produção de vapor.
- Use as tabelas de vapor para estimar a vazão volumétrica do vapor produzido.
- Repita o cálculo da letra b), mas admitindo comportamento de gás ideal em vez de usar as tabelas de vapor. Você confiaria mais na estimativa da letra b) ou letra c)? Por que?
- O que acontece com os 35% da energia térmica liberada pela combustão que não são usados para produzir vapor?

2) Água líquida alimenta uma caldeira a 24°C e 10 bar, sendo convertida em vapor saturado a pressão constante. Use as tabelas de vapor para calcular ΔH para este processo e calcule então o calor necessário para produzir 15.000 m³/h de vapor nas condições da saída. Admita que a energia cinética do líquido é desprezível e que o vapor é descarregado através de uma tubulação de 15 cm de diâmetro, posicionado a 2 metros com relação à tubulação de entrada.

3) Uma turbina descarrega 200 kg/h de vapor saturado a 10 bar (absoluto). Deseja-se gerar vapor a 250°C e 10 bar misturando a descarga da turbina com uma segunda corrente de vapor superaquecido a 300°C e 10 bar.

- Se são gerados 300 kg/h da corrente de produto, quanto calor deve ser adicionado ao misturador?
- Se o processo de mistura é conduzido de forma adiabática, qual é a taxa de geração do vapor do produto?

4) Use as tabelas de propriedades dos compostos para calcular os seguintes processos, todos eles acontecendo em pressões de 1 bar:

- $N_2(33^\circ C) \rightarrow N_2(764^\circ C)$
- $O_2(33^\circ C) \rightarrow O_2(764^\circ C)$
- $Ar(33^\circ C) \rightarrow Ar(764^\circ C)$
- $H_2O(25^\circ C) \rightarrow H_2O(250^\circ C)$ (tabela de vapor)
- $H_2O(25^\circ C) \rightarrow H_2O(250^\circ C)$ (método calor sensível/latente)

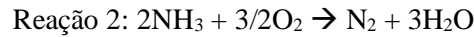
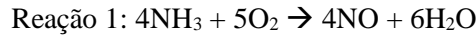
5) Propano deve ser queimado com 15% de ar em excesso. Antes de entrar na fornalha, o ar é pré-aquecido de 32°F até 575°F. Com que taxa (BTU/h) deve ser transferido calor ao ar se a vazão de alimentação de propano é 0,1045 lbmol/s.

6) Um gás combustível contendo 95% molar de metano e o resto de etano é queimado completamente com 25% de ar em excesso. O gás de chaminé sai da fornalha a 900°C e é resfriado até 450°C em um refervedor de calor perdido, que é um trocador de calor no qual o calor perdido pelo resfriamento de gases é usado para produzir vapor a partir da água líquida para aquecimento, geração de energia ou aplicações do processo.

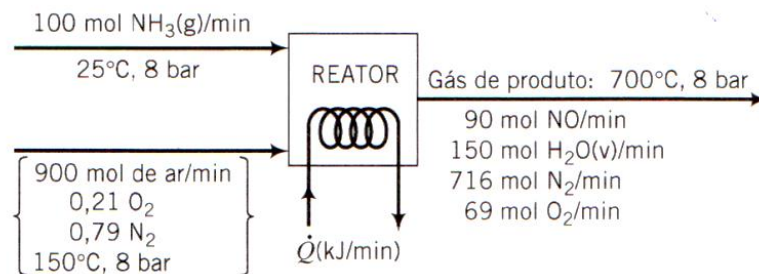
- Admitindo como base de cálculo 100 mols do gás combustível alimentando a fornalha, calcule a quantidade de calor (kJ) que deve ser transferido do gás no refervedor de calor perdido para atingir o resfriamento desejado.

- b) Quanto vapor saturado a 50 bar pode ser produzido a partir de água de caldeira a 40°C para a mesma base de cálculo? (Admita que somente metade do calor transferido do gás vai para a produção de vapor)
- c) Com que vazão (mol/h) deve ser queimado o combustível para produzir 1250 kg de vapor por hora (uma quantidade necessária em outro lugar da planta) no refervedor de calor perdido? Qual é a vazão volumétrica (m³/s) do gás que sai do refervedor?
- d) Explique resumidamente como o refervedor de calor perdido contribui para a lucratividade da planta. (Pense sobre o que seria necessário na ausência do mesmo)

7) A amônia é oxidada com ar para formar óxido nítrico na primeira etapa da produção do ácido nítrico. Ocorrem duas reações principais:

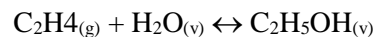


Um fluxograma do processo aparece abaixo.

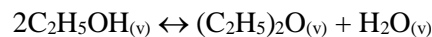


- a) Tomando como referência 25°C e 1 atm, prepare e preencha uma tabela de entalpias de entrada-saída.
- b) Calcule em kW a taxa necessária de transferência de calor do reator ou para o reator em kW.

8) Etanol é produzido comercialmente pela hidratação do etileno:



Parte do produto é convertido a dietil éter na reação paralela indesejada:



A alimentação combinada do reator contém 53,7% molar C₂H₄, 36,7% molar H₂O e o resto de nitrogênio, e entra no reator a 310°C. O reator opera isotermicamente a 310°C. É atingida uma conversão de 5% do etileno, e o rendimento de etanol (mols de etanol produzido/mol de etileno consumido) é 0,9.

- a) Calcule a necessidade de aquecimento ou resfriamento do reator em kJ/mol de alimentação.
- b) Por que o reator foi projetado para uma conversão tão baixa do etileno? Que etapa ou etapas provavelmente viriam depois do reator em uma implantação comercial deste processo?

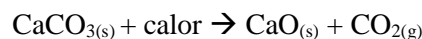
Dados para Dietil Éter

$\Delta H_f = -272,8$ kJ/mol para o líquido

$\Delta H_v = 26,05$ kJ/mol (considere independente de T)

C_p [kJ/mol°C] = $0,08945 + 40,33 \cdot 10^{-5}T - 2,244 \cdot 10^{-7}T^2$

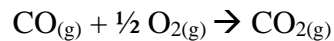
9) A cal (óxido de cálcio) é amplamente usada na produção de cimento, aço, medicamentos, inseticidas, alimento para plantas e animais, sabão, borracha e muitos outros materiais comuns. Normalmente é produzida pelo aquecimento e decomposição do calcário (CaCO₃), um minério abundante e barato, em um processo de calcinação:



- a) O calcário a 25°C alimenta um reator de calcinação contínuo. A calcinação é completa e o produto sai a 900°C. Tomando uma tonelada métrica (1000 kg) de calcário como base e uma

referência de 25°C (1 atm), preencha uma tabela de entalpias de entrada-saída e prove que a taxa de transferência de calor necessária ao reator é $2,7 \cdot 10^6$ kJ.

- b) Em uma variação comum do processo, gases quentes contendo oxigênio e monóxido de carbono (entre outros) alimentam o reator de calcinação junto com o calcário. O monóxido de carbono é oxidado na reação:



Suponha que:

- Os gases da combustão que alimentam o reator de calcinação contêm 75% mol de N_2 , 2% de O_2 , 9% de CO e 14% de CO_2 ;
- O gás entra no reator a 900°C com uma razão de alimentação de 20 kmol de gás/kmol de calcário;
- A calcinação é completa;
- Todo oxigênio na alimentação é consumido pela reação de oxidação do CO ;
- Os efluentes do reator estão a 900°C.

Tomando de novo como base 1 tonelada métrica de calcário calcinado, prepare e preencha uma tabela de entalpias de entrada-saída para este processo e calcule a taxa de transferência de calor necessária ao reator.

- c) Você deve ter encontrado que o calor que deve ser transferido ao reator é significativamente menor com o gás de combustão na alimentação do que sem ele. Qual a percentagem de redução da taxa de transferência de calor? Dê duas razões para esta redução.