



PQI 3221:
CINÉTICA QUÍMICA E PROCESSOS AMBIENTAIS

AULA 05

1

PROCESSOS DE DESTILAÇÃO

Problema

Uma mistura líquida formada por Benzeno (B) e Tolueno (T) em proporção mássica 45:55 é alimentada a uma coluna de destilação.

A corrente de topo que deixa o equipamento contém 95% (mol) de Benzeno, e a de fundo, 8,0% de todo o Benzeno alimentado ao sistema. Finalmente, sabe-se que a corrente de alimentação tem vazão volumétrica de 2000 L/h e sua densidade $\rho = 0,872 \text{ g/cm}^3$.

Pede-se:

- A. Determine o valor da corrente de topo em base mássica
- B. Determine o valor da corrente de fundo em base mássica
- C. Calcule a composição da corrente de fundo em base molar

2

EQUAÇÃO GERAL DE BALANÇO

Um balanço constituído para qualquer quantidade conservada (p.e. massa, quantidade de matéria, massa específica, energia, momento, entre outros) em um dado sistema, o qual pode corresponder a um processo simples, uma coleção de unidades interligadas ou mesmo, uma planta inteira, será descrito como:

$$[A] = [E] - [S] + [G] - [C]$$

Onde:

[A]: ACÚMULO – variação quantidade conservada;

[E]: ENTRADA – quantidade de matéria que entra pela fronteira do sistema;

[S]: SAÍDA – quantidade de matéria que saem pela fronteira do sistema;

[G]: GERAÇÃO – matéria produzida no sistema por transformação de reagentes;

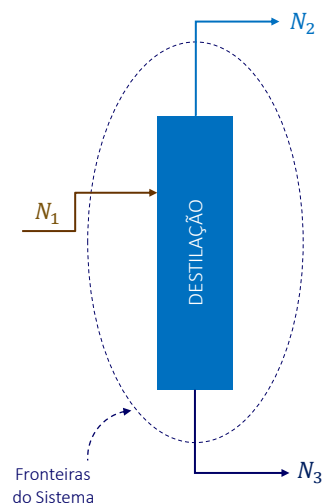
[C]: CONSUMO – matéria consumida no sistema para a geração de produtos;

3

SOLUÇÃO

Caracterização de Correntes:

Alimentação	N_1
Produto de topo	N_2
Produto de fundo	N_3



4

SOLUÇÃO

Equação Geral de Balanço de Matéria

$$A = E - S + G - C$$

Hipóteses:

a) Não há reação química

$$G = C = \text{zero}$$

b) Não há acúmulo

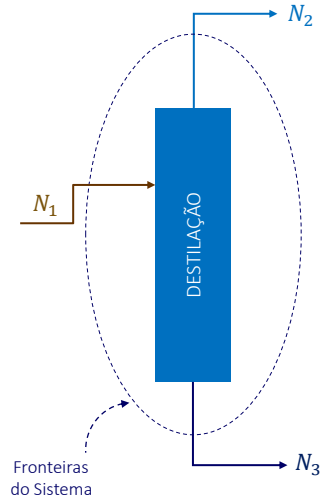
$$A = \text{zero}$$

Equação Geral de Balanço de Matéria

$$E = S$$

Ou seja,

$$N_1 = N_2 + N_3 \quad (\text{Equação 1})$$



5

SOLUÇÃO

- 1) De acordo com o que informa o enunciado, a mistura líquida formada por (B) e (T) é alimentada à coluna na proporção mássica 45:55

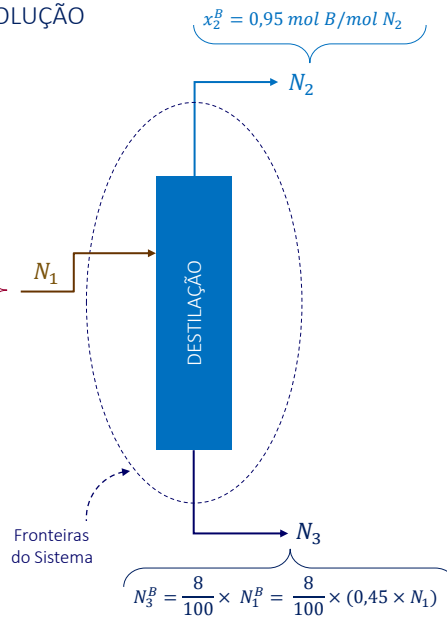
$$f_1^B = 0,45 \text{ kg} \frac{B}{\text{kg} N_1} \rightarrow N_1^B = (0,45 \times N_1)$$

$$f_1^T = 1 - 0,45 = 0,55 \text{ kg} \frac{T}{\text{kg} N_1}$$

$$\rightarrow N_1^T = (0,55 \times N_1)$$

- 2) A corrente de topo apresenta 95% (B) em base molar

- 3) Além disso, 8,0% de todo (B) que é alimentado ao sistema sai na corrente de fundo. Dado que a massa se conserva, admitamos que a consideração valha então para base mássica



6

SOLUÇÃO

Conceito:

A variável $x_2^B (= x_{N_2}^B)$ refere-se à fração molar de (B) na corrente N_2 .

Isso quer dizer que

$$x_2^B = \frac{\text{número de mols de B em } N_2}{\text{número total de mols em } N_2} = \left[\frac{\left(\frac{\text{massa de B}}{\text{Massa Molar B}} \right)}{\left(\frac{\text{massa de B}}{\text{Massa Molar B}} + \frac{\text{massa de T}}{\text{Massa Molar T}} \right)} \right]$$

Da mesma forma – e tal como no caso de base mássica –, para o caso dessa mistura binária, na corrente em referência,

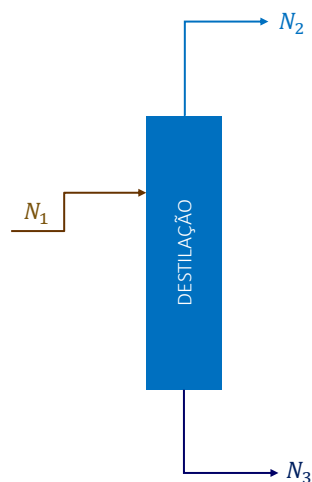
$$x_2^B = 1 - x_2^T$$

7

SOLUÇÃO

Perguntas orientativas

- Para a solução do problema, você acha importante definir uma Base de Cálculo?
- Em caso afirmativo, onde – ou seja, em qual das correntes – ela seria colocada?
- Que quantidade melhor define a Base de Cálculo?
- E, talvez nesse caso com maior importância do que em outros, em que unidade a Base de Cálculo deve ser formulada?



8

SOLUÇÃO

Alternativas para colocação de base de Cálculo

Antes de mais nada, lembre-se que...

Não existe uma receita para a fixação de base de cálculo. A escolha da corrente mais adequada para a atribuição de um valor arbitrário determinado por você depende da análise das alternativas disponíveis

Vejamos as opções para o problema em questão:

N_1 : colocando a base de cálculo nessa corrente seria possível saber, imediatamente, as contribuições em termos de quantidades mássicas de (B) e (T). Por outro lado, não conseguiríamos obter maiores informações sobre N_2

N_3 : fixada a base de cálculo nessa corrente, também não seria possível obter, sem fazer cálculos adicionais, maiores informações de balanço

N_2 : colocada aqui, a base de cálculo ajudaria a determinar a contribuição de (B) – e portanto, também de (T) – para a corrente de topo. No entanto, para aproveitar os dados do problema, esta base de cálculo deveria ser expressa em quantidade de matéria. Depois, com a ajuda das massas molares de (B) e (T), a corrente N_2 precisaria ser convertida em uma corrente mássica para que a solução do problema pudesse seguir.

9

SOLUÇÃO

Bem, olhando as alternativas, sigamos com a última das opções. Assim,

$$\tilde{N}_2 = 100 \text{ kmol/h}$$

Logo,

$$\tilde{N}_2^B = 95\% \times \tilde{N}_2 = \frac{95}{100} \times \tilde{N}_2 = 95 \text{ kmol/h}$$

se MM $C_6H_6 = 78 \text{ g/mol}$, então

$$N_2^B = 95 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \times 78 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} = 7410 \text{ kg/h}$$

Por conta disso,

$$\tilde{N}_2^T = 5,0\% \times \tilde{N}_2 = \frac{5}{100} \times \tilde{N}_2 = 5,0 \text{ kmol/h} = 460 \text{ kg/h} \text{ (pois MM } C_7H_8 = 92 \text{ g/mol)}$$

Assim,

$$N_2 = 7410 + 460 = 7870 \text{ kg/h}$$

10

SOLUÇÃO

Fazendo agora um balanço componente para (B), podemos concluir que: se 8,0% de todo (B) alimentado à torre de destilação sai na corrente de fundo, os demais 92% o farão pela corrente de topo. Portanto:

Ou seja,

$$N_1^B = N_3^B + N_2^B$$

$$N_1^B = \frac{8,0}{100} N_1^B + \frac{92}{100} N_1^B$$

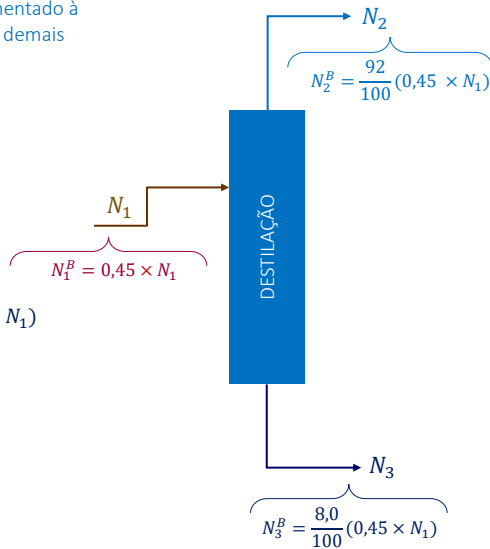
$$0,45 \times N_1 = \frac{8,0}{100} (0,45 \times N_1) + \frac{92}{100} (0,45 \times N_1)$$

Mas, como vimos antes, $N_2^B = 7410 \text{ kg/h}$

Então,

$$0,45 \times N_1 = 7410 + \frac{8,0}{100} (0,45 \times N_1)$$

$$N_1 = \mathbf{17898,55 \text{ kg/h}}$$



11

SOLUÇÃO

Pela Equação do Balanço Global:

$$N_3 = N_1 - N_2 = 17898,55 - 7870 = \mathbf{10028,55 \text{ kg/h}}$$

No entanto, há um aspecto a ser considerado. O enunciado informa que, a corrente **real** de alimentação do sistema (N_1) apresenta vazão volumétrica de 2000 L/h e que o valor de sua densidade $\rho = 0,872 \text{ g/cm}^3$.

Por conta disso, pode-se dizer que:

$$N_1 = (2000) \cdot (0,872) = N_2 + N_3$$

$$1744 = N_2 + N_3$$

Logo, para efetuar a adequação entre correntes 'reais' e 'projetada' (a partir da fixação de uma base de cálculo) um ajuste deve ser feito. Esse ajuste se dá pela aplicação de um fator de conversão ($= f$):

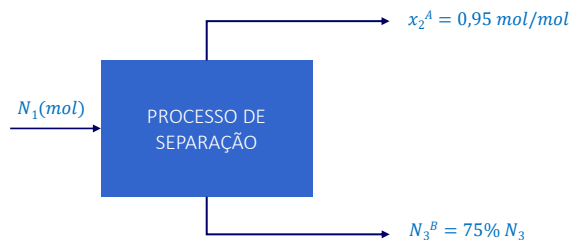
$$f = \frac{N_{1(\text{real})}}{N_{1(\text{projetada})}} = \frac{1744}{17898,55} = \mathbf{0,0974}$$

12

“SCALE UP” DE PROCESSOS

Problema

Uma mistura 60-40 (em base molar) estabelecida entre os compostos A e B será separada em quantidades iguais. O fluxograma do processo em questão aparece representado a seguir.



Pede-se:

- Ajustar as vazões do sistema em questão atingindo os mesmos níveis de separação para o caso de uma alimentação contínua, realizada à razão de 1250 mol/h;
- Seria possível ajustar as vazões de topo e fundo do processo de separação de forma a obter quantidades iguais de A e B nas correntes N_2 e N_3 ? Justifique de maneira fundamentada sua resposta.

13

EQUAÇÃO GERAL DE BALANÇO

Um balanço constituído para qualquer quantidade conservada (p.e. massa, quantidade de matéria, massa específica, energia, momento, entre outros) em um dado sistema, o qual pode corresponder a um processo simples, uma coleção de unidades interligadas ou mesmo, uma planta inteira, será descrito como:

$$[A] = [E] - [S] + [G] - [C]$$

Onde:

- [A]: ACÚMULO – variação quantidade conservada;
- [E]: ENTRADA – quantidade de matéria que entra pela fronteira do sistema;
- [S]: SAÍDA – quantidade de matéria que saem pela fronteira do sistema;
- [G]: GERAÇÃO – matéria produzida no sistema por transformação de reagentes;
- [C]: CONSUMO – matéria consumida no sistema para a geração de produtos;

14

SOLUÇÃO

Equação Geral de Balanço de Matéria

$$A = E - S + G - C$$

Hipóteses:

a) Não há reação química
 $G = C = \text{zero}$

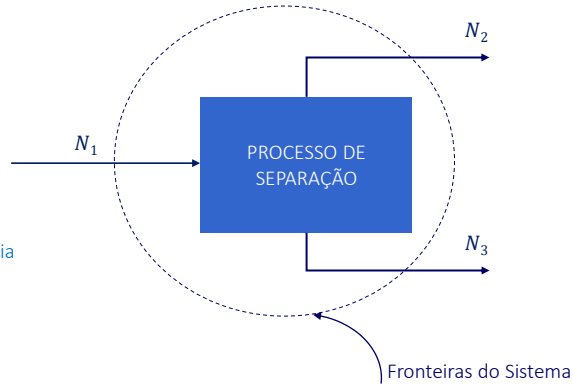
b) Não há acúmulo
 $A = \text{zero}$

Equação Geral de Balanço de Matéria

$$E = S$$

Ou seja,

$$N_1 = N_2 + N_3 \quad (\text{Equação 1})$$

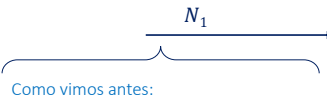


15

SOLUÇÃO

Pelo enunciado, a corrente que entra no sistema (N_1) será dividida em duas outras correntes iguais entre si.
Ou seja,

$$N_2 = N_3 = \frac{N_1}{2}$$



$$x = \left[\frac{\text{número de mols de uma especie química}}{\text{número de mols totais}} \right]$$

Então, se

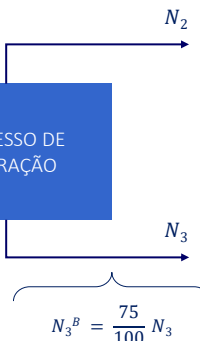
$$x_1^A = 0,60 \frac{\text{mol A}}{\text{mol } N_1}$$

E como,

$$x_1^A + x_1^B = 100\% = 1$$

$$x_1^B = 1 - x_1^A$$

$$x_1^B = 0,40 \frac{\text{mol B}}{\text{mol } N_1}$$



16

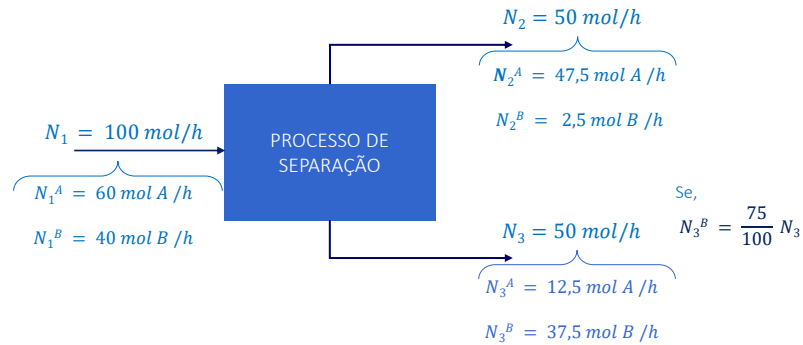
SOLUÇÃO

Nesse caso, há necessidade de colocação de uma Base de Cálculo?
Em caso afirmativo, onde ela seria mais conveniente, em que quantidade e com qual unidade?

Sim, aparentemente uma boa opção seria $N_1 = 100 \text{ mol/h}$

Como,

$$N_2 = N_3 = \frac{N_1}{2}$$



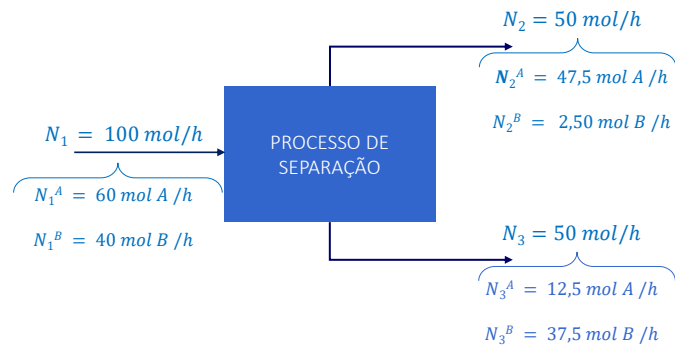
17

“SCALE UP” DE PROCESSOS

Supondo agora que um ‘scale up’ de processo seja feito para $N_1 = 1250 \text{ mol/h}$.

Isso corresponde a multiplicar a corrente de entrada em 12,5 vezes.

Como resultado disso, todas as demais correntes serão corrigidas pelo mesmo fator



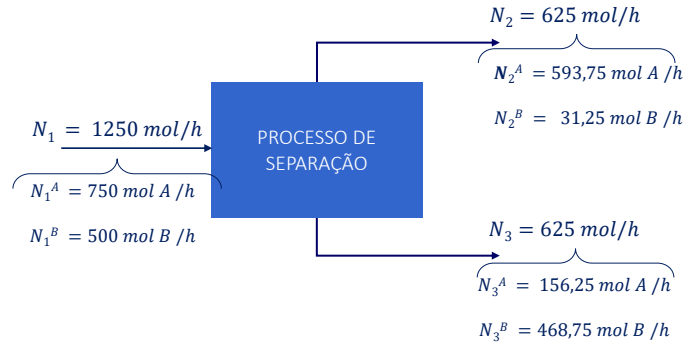
18

“SCALE UP” DE PROCESSOS

Supondo agora que um ‘scale up’ de processo seja feito para $N_1 = 1250 \text{ mol/h}$.

Isso corresponde a multiplicar a corrente de entrada em 12,5 vezes.

Como resultado disso, todas as demais correntes serão corrigidas pelo mesmo fator

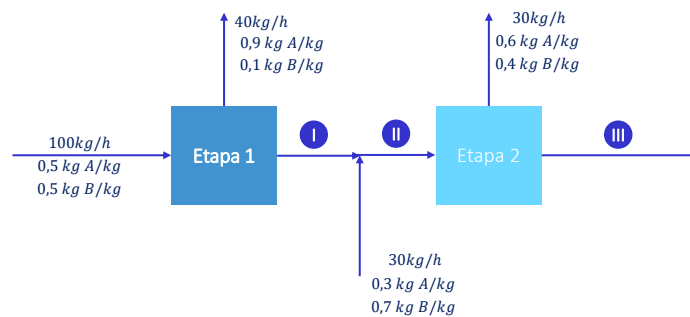


19

PROCESSOS COM MÚLTIPLAS UNIDADES

Problema

Considere um processo que opera em estado estacionário, constituído de múltiplas unidades conectadas entre si na forma como indicado no fluxograma abaixo.



Pede-se:

Calcule as taxas e composições das correntes I, II e III.

20

RECICLO E BY-PASS

Problema

Ar fresco contendo 4,00% mol de vapor de água será resfriado e desumidificado em unidade de ar condicionado até que seja atingido um patamar de 1,70% mol $H_2O_{(v)}$. Para tanto, o ar fresco será misturado a uma parte da corrente de ar desumidificado, originando assim uma corrente resultante com umidade de 2,30% mol, que irá alimentar a unidade de resfriamento.

Uma parcela da água presente na corrente de entrada se condensa, sendo removida do sistema em fase líquida. Já a quantidade excedente de ar desumidificado é lançado no ambiente.

Tomando por base de cálculo a geração de 100 mol de ar desumidificado para o exterior, calcule:

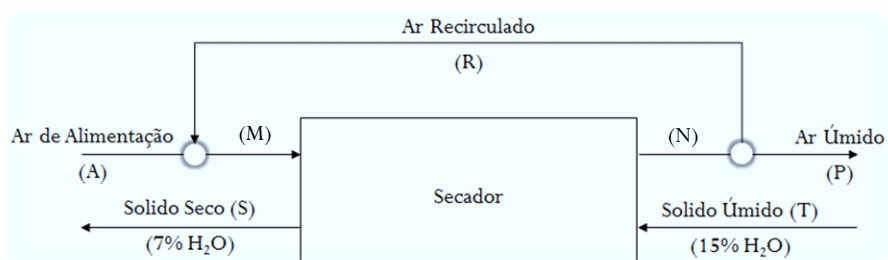
- A quantidade (em base molar) de ar fresco alimentado ao sistema;
- O número de mols de H_2O condensada;
- O número de mols de ar desumidificado que será recirculado dentro do sistema.

21

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO – PROCESSOS DIVERSOS

Problema

Considere a secagem de 1000 kg de um sólido úmido por ar, da forma como aparece indicado no esquema que segue abaixo



A corrente de 'Ar de Alimentação' (A) contém 0,01 kg água / kg ar seco e, à saída, o 'Ar Úmido' (P) apresenta 0,10 kg água / kg ar seco. Por outro lado, na entrada do secador (M) a mesma proporção (água: ar seco) passa a ser de 0,03 kg /kg.

Para essas condições calcule:

- A quantidade de 'Ar de Alimentação' (A) necessária para que o processo ocorra em Estado Estacionário;
- A quantidade de ar reciclado (R).

22