

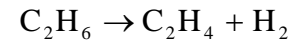
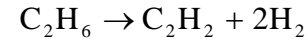
# Introdução à Engenharia Química e Bioquímica

**Aula 14**  
**MIEQB**  
**ano lectivo de 2020/2021**

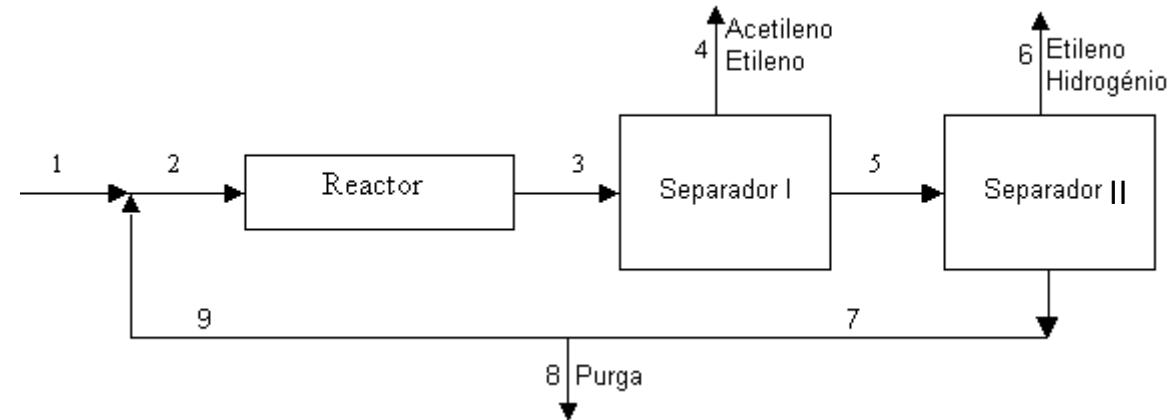
---

## 4.10

A figura em anexo representa uma versão simplificada do processo de produção do acetileno a partir do etano. A corrente de etano fresca, contendo 3% molar de metano como impureza, é misturada com uma corrente de reciclo, antes de ser alimentada ao reactor. Neste, o etano é convertido em acetileno com uma conversão por passe de 40%. Simultaneamente dá-se a desidrogenação parcial do etano com a consequente produção de etileno, com uma conversão de 15%.



Para impedir a carbonização do metano exige-se que o seu teor à entrada do reactor seja igual ou inferior a 8% molar

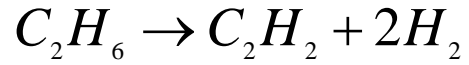
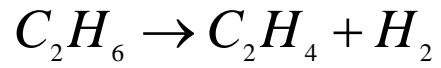
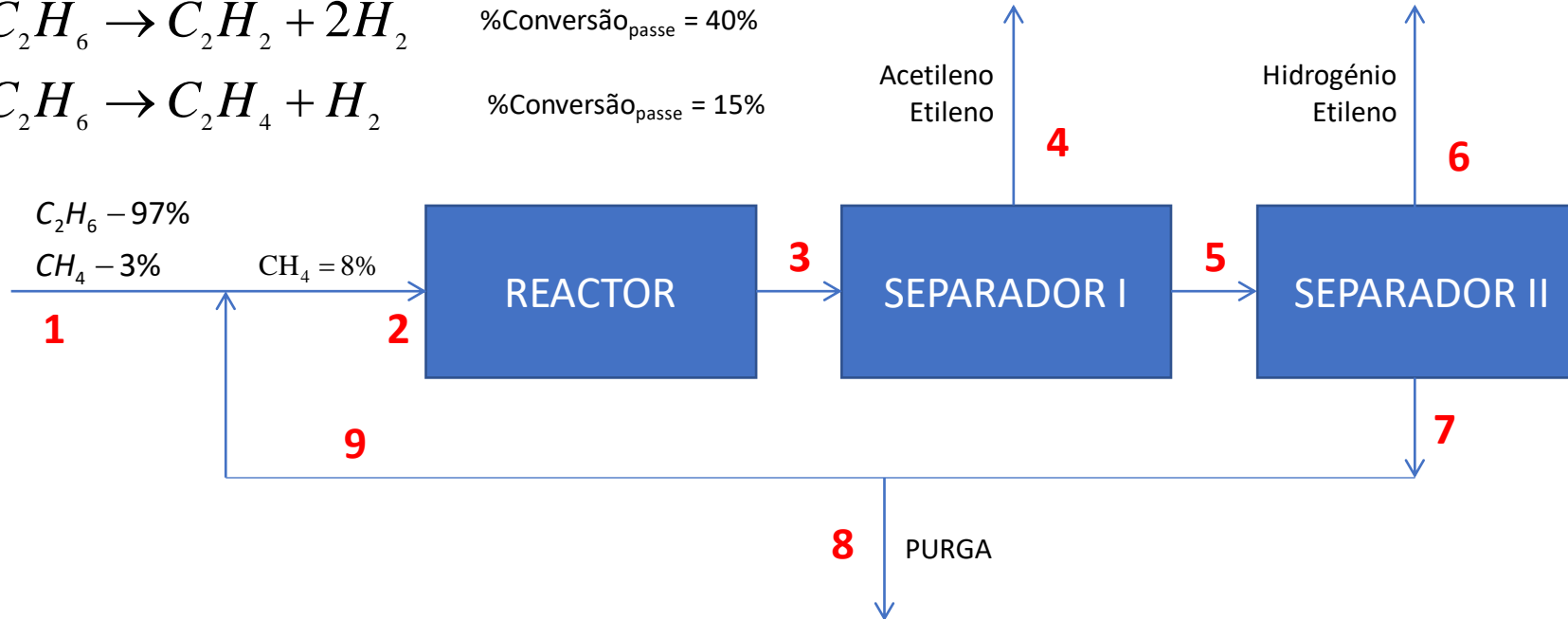


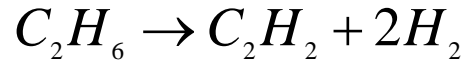
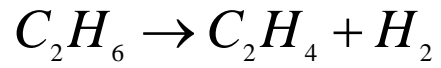
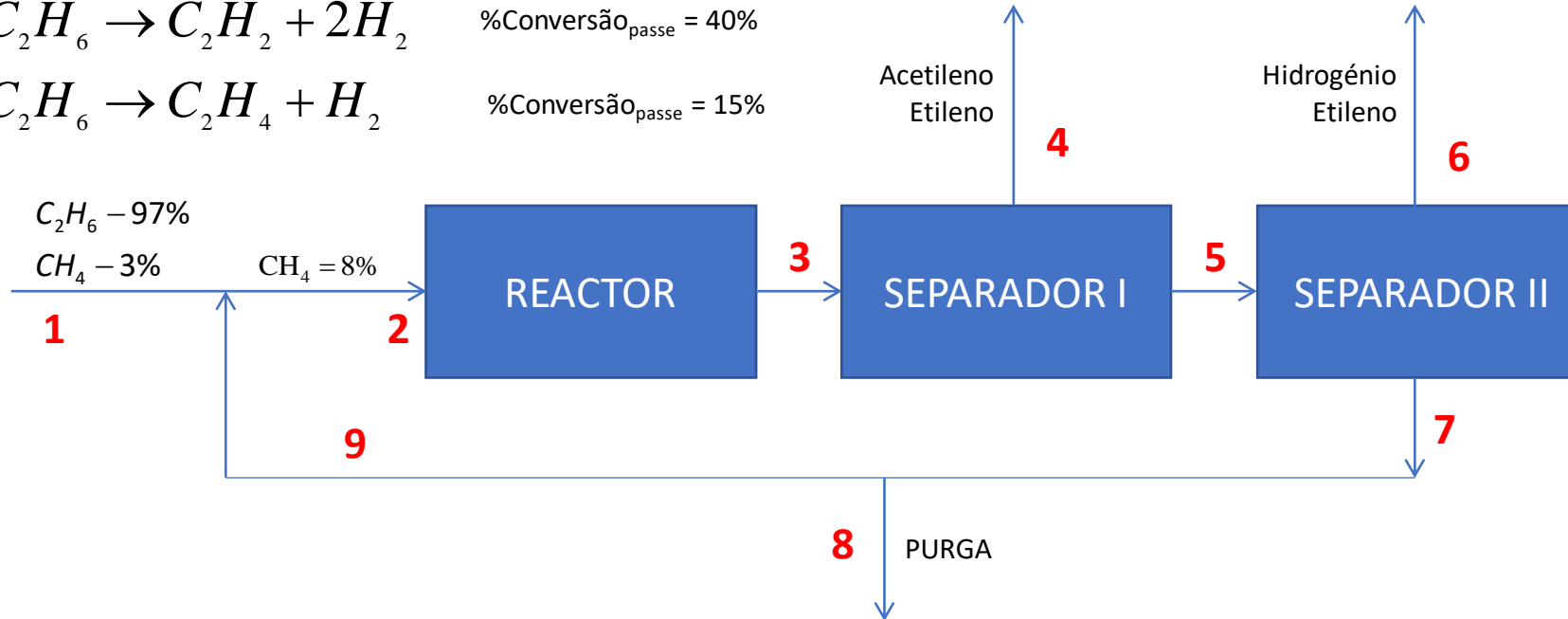
A corrente efluente do reactor é sujeita a dois processos de separação. Na primeira separação, o acetileno é completamente removido e arrasta consigo 9% do etileno efluente do reactor. Na segunda separação o restante etileno e o hidrogénio são completamente separados do metano e do etano. Estes dois compostos são reciclados para o início do processo, após purga.

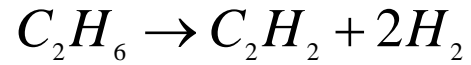
Para uma base de cálculo à sua escolha:

- Efectue o balanço material ao processo;
- Calcule a composição da corrente de purga;
- Calcule a fracção de purga e justifique a sua existência;
- Calcule o rendimento em etileno

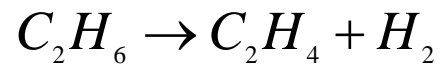



$$\% \text{Convers\~{a}o}_{\text{passe}} = 40\%$$

$$\% \text{Convers\~{a}o}_{\text{passe}} = 15\%$$
[illegible]

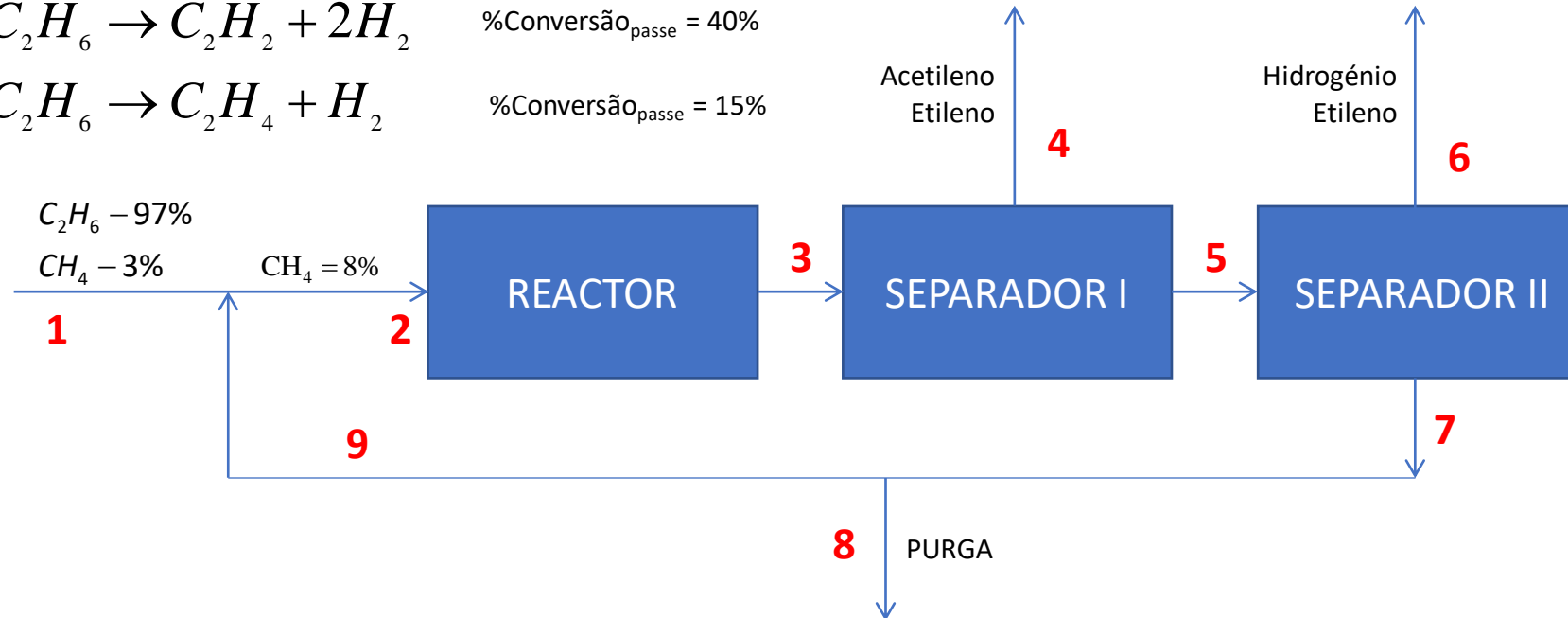

$$\% \text{Convers\~{a}o}_{\text{passe}} = 40\%$$

$$\% \text{Convers\~{a}o}_{\text{passe}} = 15\%$$
[illegible]



%Conversão<sub>passe</sub> = 40%



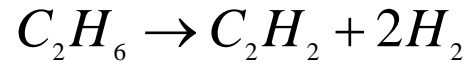
%Conversão<sub>passe</sub> = 15%



Base de cálculo – 100 moles de C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> na corrente 2 ➡ 100 moles = 92%

X moles = 8%

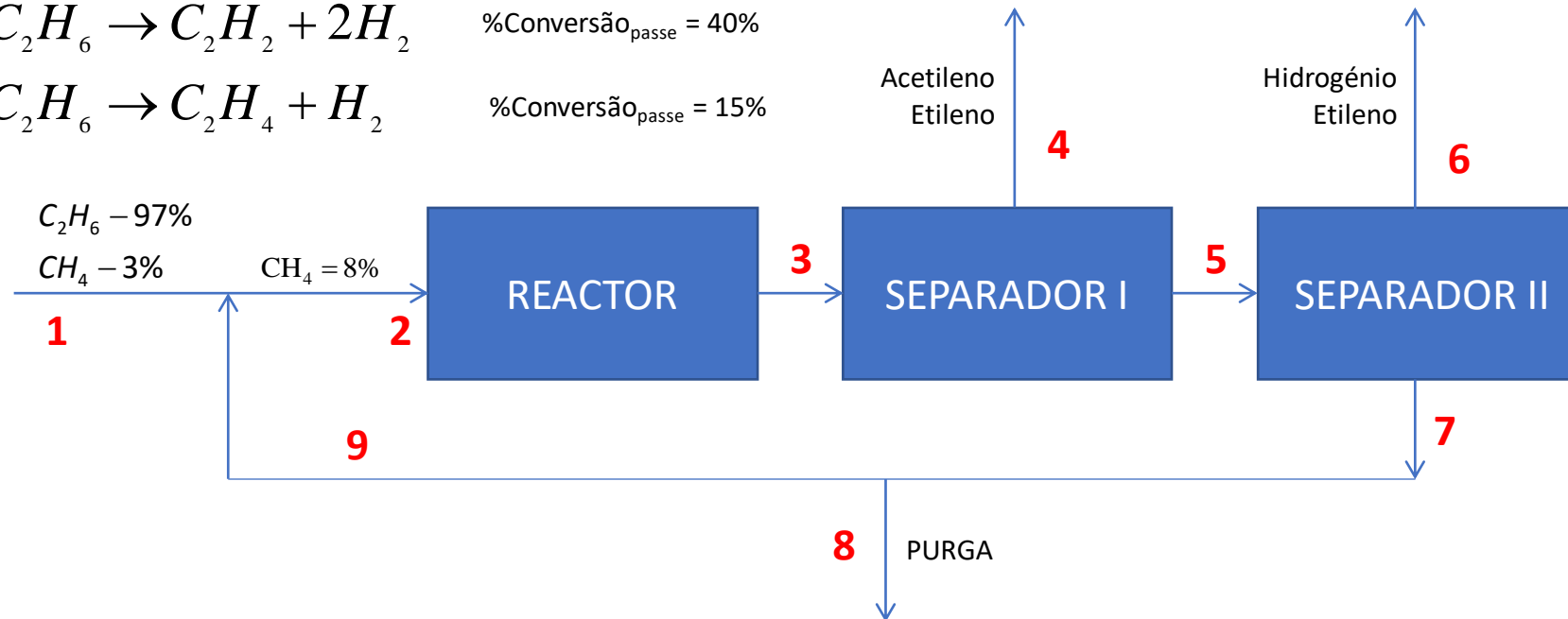
8,7 moles de CH<sub>4</sub> na corrente 2



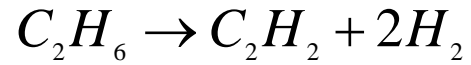
%Conversão<sub>passe</sub> = 40%



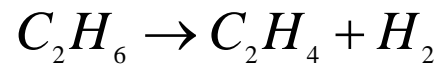
%Conversão<sub>passe</sub> = 15%



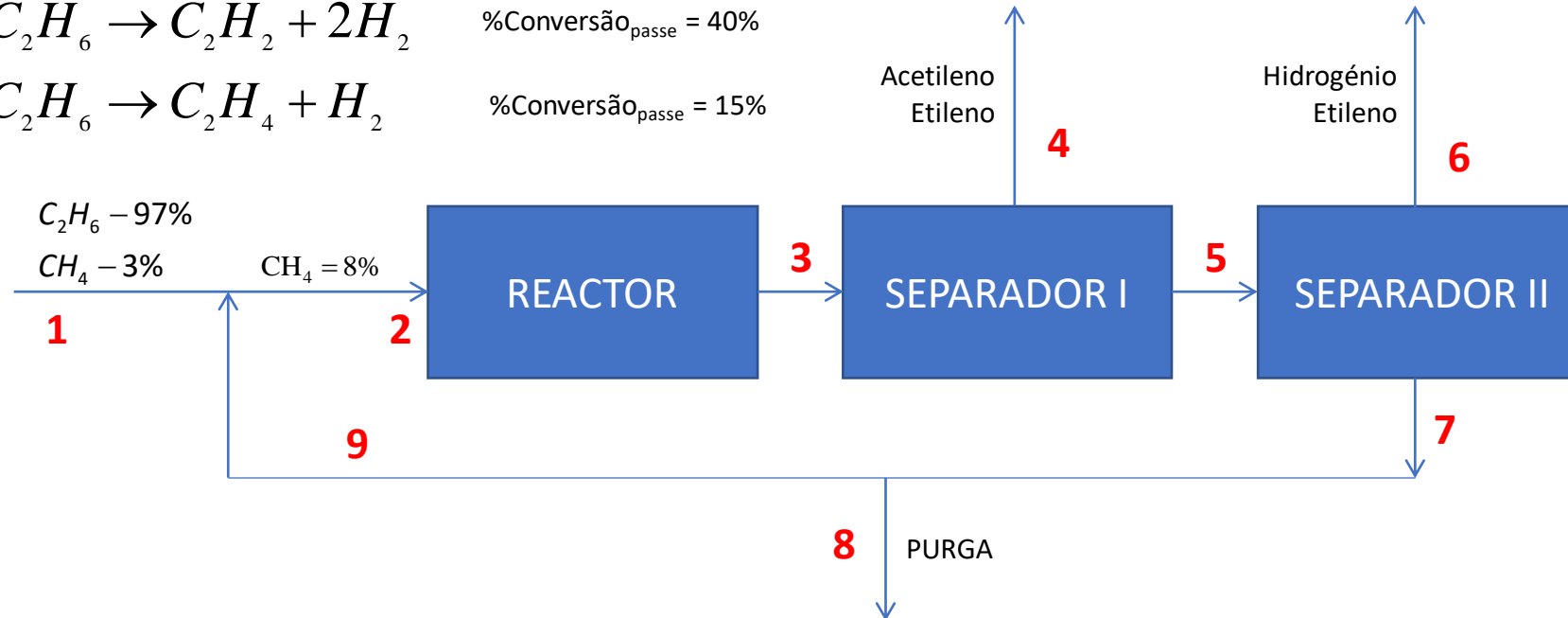
|       | 1 | 2     | 3 | 4     | 5     | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------|---|-------|---|-------|-------|---|---|---|---|
| C2H6  |   | 100   |   | 0     |       | 0 |   |   |   |
| C2H4  | 0 | 0     | x | 0.09x | 0.91x |   | 0 | 0 | 0 |
| C2H2  | 0 | 0     |   |       | 0     | 0 | 0 | 0 | 0 |
| H2    | 0 | 0     |   | 0     |       |   | 0 | 0 | 0 |
| CH4   |   | 8,7   |   | 0     |       | 0 |   |   |   |
| TOTAL |   | 108,7 |   |       |       |   |   |   |   |



%Conversão<sub>passe</sub> = 40%



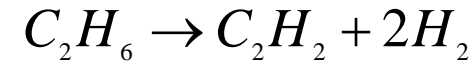
%Conversão<sub>passe</sub> = 15%



|       | 1 | 2     | 3   | 4     | 5     | 6 | 7   | 8 | 9 |
|-------|---|-------|-----|-------|-------|---|-----|---|---|
| C2H6  |   | 100   |     | 0     |       | 0 |     |   |   |
| C2H4  | 0 | 0     | x   | 0.09x | 0.91x |   | 0   | 0 | 0 |
| C2H2  | 0 | 0     |     |       | 0     | 0 | 0   | 0 | 0 |
| H2    | 0 | 0     |     | 0     |       |   | 0   | 0 | 0 |
| CH4   |   | 8,7   | 8,7 | 0     | 8,7   | 0 | 8,7 |   |   |
| TOTAL |   | 108,7 |     |       |       |   |     |   |   |



Balanço ao reactor – balanço às espécies



%Conversão<sub>passe</sub> = 40%



%Conversão<sub>passe</sub> = 15%

$$C_2H_2 \quad (n_{C_2H_2})_3 = 0,4 * (n_{C_2H_6})_2 = 40$$

$$C_2H_4 \quad (n_{C_2H_4})_3 = 0,15 * (n_{C_2H_6})_2 = 15$$

$$H_2 \quad (n_{H_2})_3 = 2 * 40 + 15 = 95$$

$$C_2H_6 \quad (n_{C_2H_6})_3 = (n_{C_2H_6})_2 - 40 - 15 = 45$$

$$CH_4 \quad (n_{CH_4})_3 = (n_{CH_4})_2$$

Balanço ao Separador I – balanço às espécies  
Caracterização da corrente 4:

$$C_2H_2 \quad (n_{C_2H_2})_3 = (n_{C_2H_2})_4 = 40$$

$$C_2H_4 \quad (n_{C_2H_4})_4 = 0,09 * (n_{C_2H_4})_3 = 1,4$$

$$H_2 \quad (n_{H_2})_4 = 0$$

$$C_2H_6 \quad (n_{C_2H_6})_4 = 0$$

$$C H_4 \quad (n_{CH_4})_4 = 0$$

Balanço ao Separador I – balanço às espécies  
Caracterização da corrente 5:

$$C_2H_2 \quad (n_{C_2H_2})_5 = 0$$

$$C_2H_4 \quad (n_{C_2H_4})_5 = (n_{C_2H_4})_3 - (n_{C_2H_4})_4 = 13,6$$

$$H_2 \quad (n_{H_2})_5 = (n_{H_2})_3 = 95$$

$$C_2H_6 \quad (n_{C_2H_6})_5 = (n_{C_2H_6})_3 = 45$$

$$C H_4 \quad (n_{CH_4})_5 = (n_{CH_4})_3 = 8,7$$

Balanço ao Separador II – balanço às espécies  
Caracterização da corrente 6:

$$C_2H_2 \quad (n_{C_2H_2})_6 = 0$$

$$C_2H_4 \quad (n_{C_2H_4})_5 = (n_{C_2H_4})_6 = 13,6$$

$$H_2 \quad (n_{H_2})_5 = (n_{H_2})_6 = 95$$

$$C_2H_6 \quad (n_{C_2H_6})_6 = 0$$

$$CH_4 \quad (n_{CH_4})_6 = 0$$

Balanço ao Separador II – balanço às espécies  
Caracterização da corrente 7:

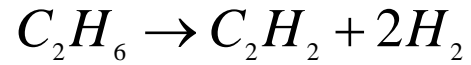
$$C_2H_2 \quad (n_{C_2H_2})_7 = 0$$

$$C_2H_4 \quad (n_{C_2H_4})_7 = 0$$

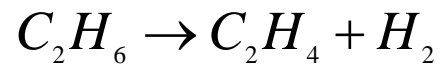
$$H_2 \quad (n_{H_2})_7 = 0$$

$$C_2H_6 \quad (n_{C_2H_6})_7 = 45$$

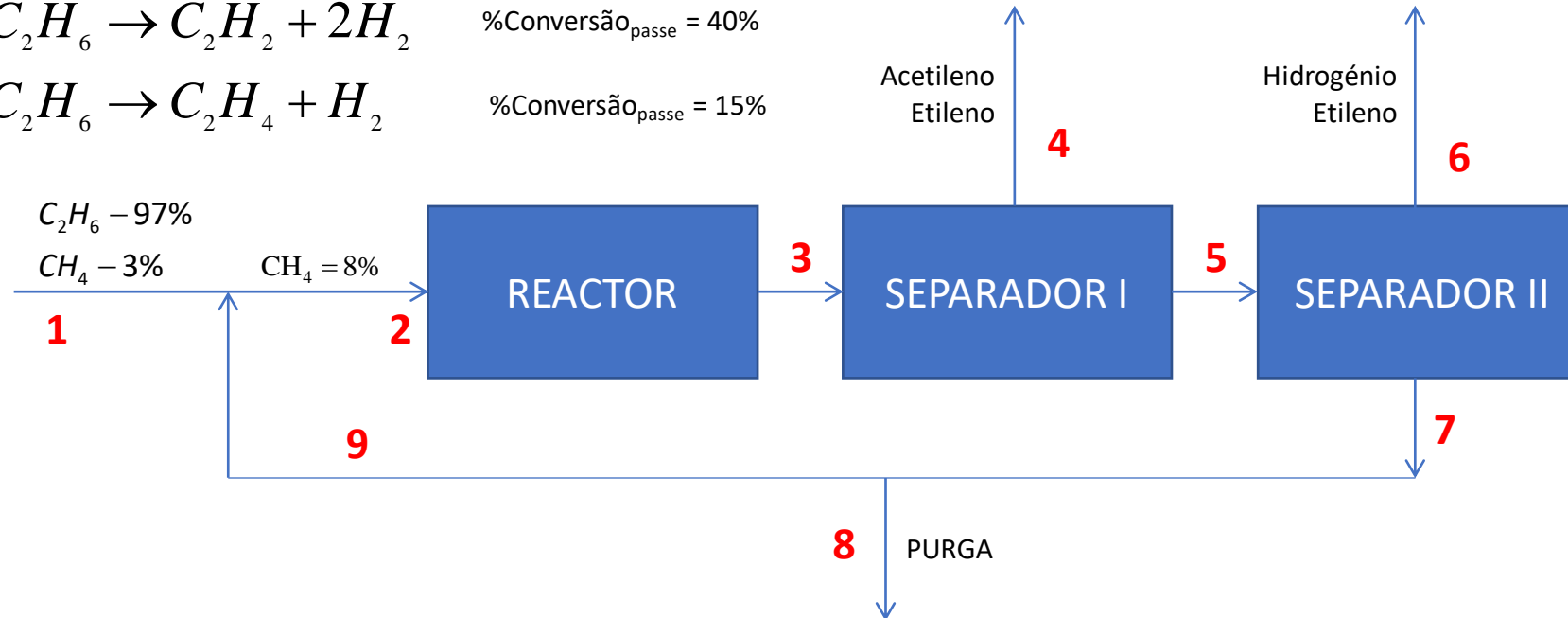
$$CH_4 \quad (n_{CH_4})_7 = 8,7$$



%Conversão<sub>passe</sub> = 40%



%Conversão<sub>passe</sub> = 15%



|       | 1 | 2     | 3   | 4   | 5    | 6    | 7   | 8 | 9 |
|-------|---|-------|-----|-----|------|------|-----|---|---|
| C2H6  |   | 100   | 45  | 0   | 45   | 0    | 45  |   |   |
| C2H4  | 0 | 0     | 15  | 1,4 | 13,6 | 13,6 | 0   | 0 | 0 |
| C2H2  | 0 | 0     | 40  | 40  | 0    | 0    | 0   | 0 | 0 |
| H2    | 0 | 0     | 95  | 0   | 95   | 95   | 0   | 0 | 0 |
| CH4   |   | 8,7   | 8,7 | 0   | 8,7  | 0    | 8,7 |   |   |
| TOTAL |   | 108,7 |     |     |      |      |     |   |   |

Balanço global à Purga e ao nó correntes 1,2 e 9:

$$n_7 = n_8 + n_9$$

$$n_9 + n_1 = n_2$$

Balanço metano no nó correntes 1,2 e 9:

$$(n_{CH_4})_9 + (n_{CH_4})_1 = (n_{CH_4})_2$$

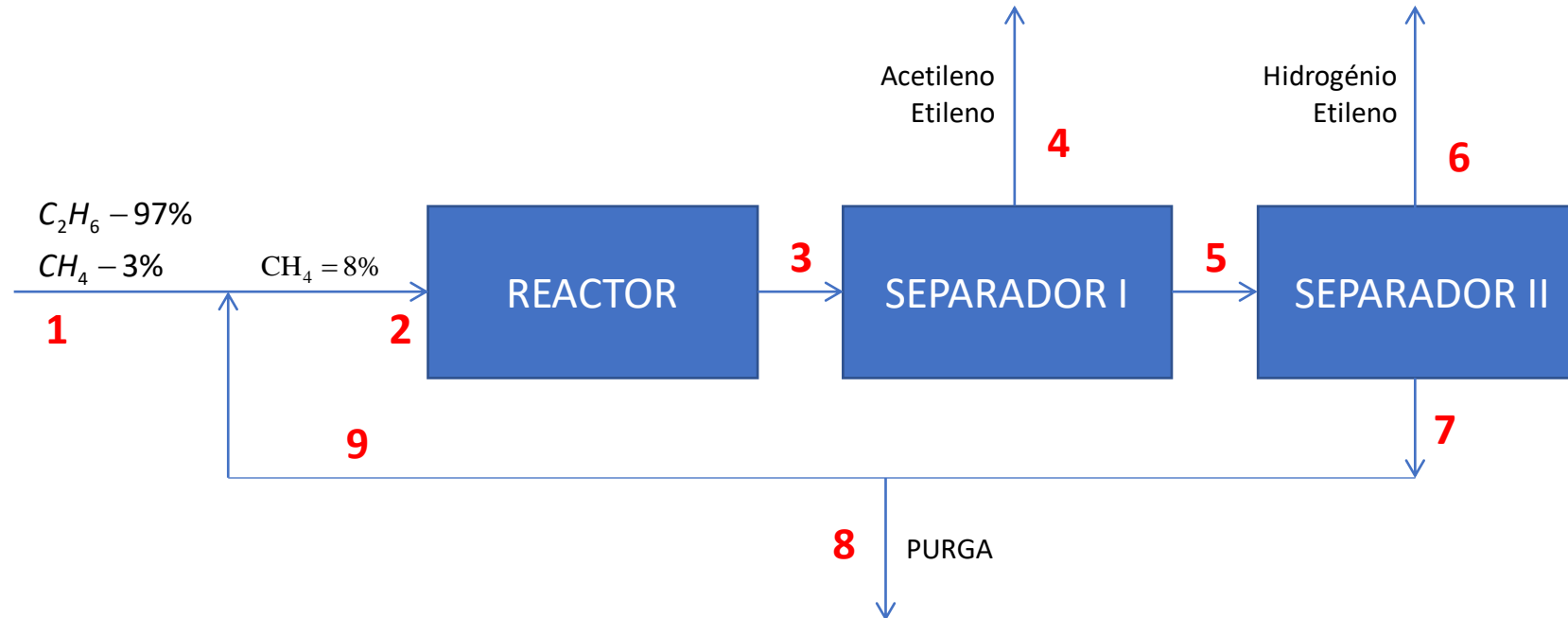
$$\left( \frac{8,7}{8,7 + 45} \right) * n_9 + 0,03 * n_1 = 0,08 * n_2$$



$$n_9 = 41,2$$

$$n_1 = 67,5$$

$$n_8 = 12,5$$



|       | 1    | 2     | 3     | 4    | 5     | 6     | 7    | 8    | 9    |
|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|
| C2H6  | 65,5 | 100   | 45    | 0    | 45    | 0     | 45   | 10,5 | 34,5 |
| C2H4  | 0    | 0     | 15    | 1,4  | 13,6  | 13,6  | 0    | 0    | 0    |
| C2H2  | 0    | 0     | 40    | 40   | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    |
| H2    | 0    | 0     | 95    | 0    | 95    | 95    | 0    | 0    | 0    |
| CH4   | 2    | 8,7   | 8,7   | 0    | 8,7   | 0     | 8,7  | 2    | 6,7  |
| TOTAL | 67,5 | 108,7 | 203,7 | 41,4 | 162,3 | 108,6 | 53,7 | 12,5 | 41,2 |



**4.10. a)**

|                               | 1    | 2     | 3     | 4    | 5     | 6     | 7    | 8    | 9    |
|-------------------------------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | 65,5 | 100   | 45    | 0    | 45    | 0     | 45   | 10,5 | 34,5 |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | 0    | 0     | 15    | 1,4  | 13,6  | 13,6  | 0    | 0    | 0    |
| C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | 0    | 0     | 40    | 40   | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    |
| H <sub>2</sub>                | 0    | 0     | 95    | 0    | 95    | 95    | 0    | 0    | 0    |
| CH <sub>4</sub>               | 2    | 8,7   | 8,7   | 0    | 8,7   | 0     | 8,7  | 2    | 6,7  |
| TOTAL                         | 67,5 | 108,7 | 203,7 | 41,4 | 162,3 | 108,6 | 53,7 | 12,5 | 41,2 |

**4.10. b) Composição da corrente de purga (8)**  $x_{CH_4} = 0,16$ 

$$x_{C_2H_6} = 0,84$$

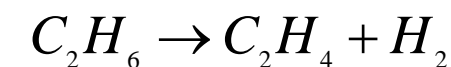
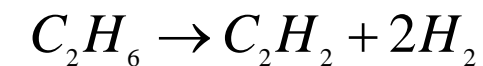
**4.10. c) Purga – existe para retirar o excesso de metano no processo**

$$\frac{n_8}{n_7} = 23,3\%$$

|                               | 1    | 2     | 3     | 4    | 5     | 6     | 7    | 8    | 9    |
|-------------------------------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | 65,5 | 100   | 45    | 0    | 45    | 0     | 45   | 10,5 | 34,5 |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | 0    | 0     | 15    | 1,4  | 13,6  | 13,6  | 0    | 0    | 0    |
| C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | 0    | 0     | 40    | 40   | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    |
| H <sub>2</sub>                | 0    | 0     | 95    | 0    | 95    | 95    | 0    | 0    | 0    |
| CH <sub>4</sub>               | 2    | 8,7   | 8,7   | 0    | 8,7   | 0     | 8,7  | 2    | 6,7  |
| TOTAL                         | 67,5 | 108,7 | 203,7 | 41,4 | 162,3 | 108,6 | 53,7 | 12,5 | 41,2 |

#### 4.10. d) Rendimento em etileno

$$\eta = \left( \frac{N_p}{N_{p,estequiom}} \right) * 100$$



N<sub>p</sub> - designa o número de moles de produto desejado formado

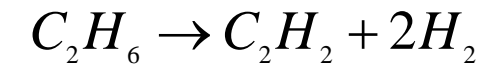
N<sub>p,estequim</sub> – designa o número de moles de produto desejado formado se não houvesse reacções secundárias e todo o reagente limitante tivesse sido convertido (i.e., 100% conversão)

$$\eta = \left( \frac{40}{100} \right) * 100 = 40\%$$

|                               | 1    | 2     | 3     | 4    | 5     | 6     | 7    | 8    | 9    |
|-------------------------------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | 65,5 | 100   | 45    | 0    | 45    | 0     | 45   | 10,5 | 34,5 |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | 0    | 0     | 15    | 1,4  | 13,6  | 13,6  | 0    | 0    | 0    |
| C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | 0    | 0     | 40    | 40   | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    |
| H <sub>2</sub>                | 0    | 0     | 95    | 0    | 95    | 95    | 0    | 0    | 0    |
| CH <sub>4</sub>               | 2    | 8,7   | 8,7   | 0    | 8,7   | 0     | 8,7  | 2    | 6,7  |
| TOTAL                         | 67,5 | 108,7 | 203,7 | 41,4 | 162,3 | 108,6 | 53,7 | 12,5 | 41,2 |

#### 4.10. d) Rendimento em etileno

$$\eta = \left( \frac{N_p * factor\_estequiométrico}{N_c} \right) * 100$$



N<sub>p</sub> - designa o número de moles de produto desejado formado

N<sub>c</sub> – designa o número de moles do reagente limitante convertidas

$$\eta = \left( \frac{40}{55} \right) * 100 = 73\%$$

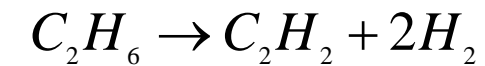
|                               | 1    | 2     | 3     | 4    | 5     | 6     | 7    | 8    | 9    |
|-------------------------------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | 65,5 | 100   | 45    | 0    | 45    | 0     | 45   | 10,5 | 34,5 |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | 0    | 0     | 15    | 1,4  | 13,6  | 13,6  | 0    | 0    | 0    |
| C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | 0    | 0     | 40    | 40   | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    |
| H <sub>2</sub>                | 0    | 0     | 95    | 0    | 95    | 95    | 0    | 0    | 0    |
| CH <sub>4</sub>               | 2    | 8,7   | 8,7   | 0    | 8,7   | 0     | 8,7  | 2    | 6,7  |
| TOTAL                         | 67,5 | 108,7 | 203,7 | 41,4 | 162,3 | 108,6 | 53,7 | 12,5 | 41,2 |

#### 4.10. d) Selectividade

$$S = \left( \frac{N_p}{N_i} \right)$$

N<sub>p</sub>- designa o número de moles de produto desejado formado

N<sub>i</sub> – designa o número de moles de produto indesejado formado



$$S = \left( \frac{40}{15} \right) = 2.7$$