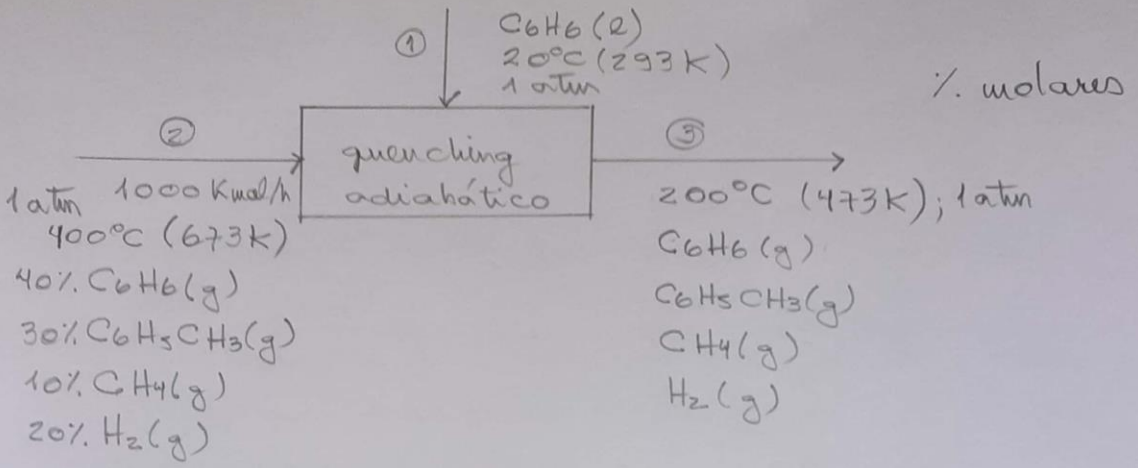
exemplo 3 – *quenching* adiabático



hipóteses: estado estacionário; $\Delta E_c = \Delta E_p = 0$; $\dot{W}_s = 0$; dependência das entalpias c/ a pressão é desprezado; gases ideais; mistura ideal.

a) Análise do Nº GL:

	BM	BM+BE
NVI	9	(9)+3(T)+2($\dot{Q}$; $\dot{W}_s$)
NVEI	4	(4)+3(T_1; T_2; T_3)+2($\dot{Q}=\dot{W}_s=0$)
NBI	4	(4)+1(BE)
NRI	0	0
Nº GL	1	0

O problema está subespecificado quanto ao BM, mas corretamente especificado como um todo (BM+BE). Dessa forma, o BM está acoplado ao BE, de modo que as equações correspondentes devem ser resolvidas simultaneamente. O BE será usado para calcular uma vazão que falta.

b) Com as hipóteses e simplificações acima, já adotando uma condição de referência, o balanço de energia em base molar para o sistema adiabático fica:

$$\sum_{s=1}^{S}\left[\sum_{j=1}^{J} F_{s,j}\cdot(\tilde{H}_{s,j}-\tilde{H}_{s,ref})-\sum_{k=1}^{K} F_{s,k}\cdot(\tilde{H}_{s,k}-\tilde{H}_{s,ref})\right]=0$$

Para o problema, tem-se:

$$F_{C6H6,1}\cdot\left(\tilde{H}_{C6H6,1}-\tilde{H}_{C6H6,ref}\right)+F_{C6H6,2}\cdot\left(\tilde{H}_{C6H6,2}-\tilde{H}_{C6H6,ref}\right)$$

$$-F_{C6H6,3}\cdot\left(\tilde{H}_{C6H6,3}-\tilde{H}_{C6H6,ref}\right)$$

$$+F_{C6H5CH3,2}\cdot\left(\tilde{H}_{C6H5CH3,2}-\tilde{H}_{C6H5CH3,ref}\right)$$

$$-F_{C6H5CH3,3}\cdot\left(\tilde{H}_{C6H5CH3,3}-\tilde{H}_{C6H5CH3,ref}\right)$$

$$+F_{CH4,2}\cdot\left(\tilde{H}_{CH4,2}-\tilde{H}_{CH4,ref}\right)-F_{CH4,3}\cdot\left(\tilde{H}_{CH4,3}-\tilde{H}_{CH4,ref}\right)$$

$$+F_{H2,2}\cdot\left(\tilde{H}_{H2,2}-\tilde{H}_{H2,ref}\right)-F_{H2,3}\cdot\left(\tilde{H}_{H2,3}-\tilde{H}_{H2,ref}\right)=0$$

Lembrando que: $\tilde{H}_{s,j}=\tilde{H}_s(T_j, P_j, \Pi_j)$

$\tilde{H}_{s,K}=\tilde{H}_s(T_K, P_K, \Pi_K)$

$\tilde{H}_{s,ref}=\tilde{H}_s(T_{ref}, P_{ref}, \Pi_{ref})$

Seja a condição de referência correspondente à condição da corrente 3:

$$\tilde{H}_{s,ref}=\tilde{H}_s(T_{ref}, P_{ref}, \Pi_{ref})=\tilde{H}_s(T_3, P_3, \Pi_3)=\tilde{H}_{s,3}$$

espécies na condição da corrente 3

O BE fica:

$$F_{C6H6,1} \cdot (\tilde{H}_{C6H6,1} - \tilde{H}_{C6H6,3}) + F_{C6H6,2} \cdot (\tilde{H}_{C6H6,2} - \tilde{H}_{C6H6,3})$$

$$+ F_{C6H5CH3,2} \cdot (\tilde{H}_{C6H5CH3,2} - \tilde{H}_{C6H5CH3,3})$$

$$+ F_{CH4,2} \cdot (\tilde{H}_{CH4,2} - \tilde{H}_{CH4,3})$$

$$+ F_{H2,2} \cdot (\tilde{H}_{H2,2} - \tilde{H}_{H2,3}) = 0$$

---

mas: $\Pi_1 = \text{líq}$; $\Pi_2 = \Pi_3 = \text{gás}$

$P_1 = P_2 = P_3$

$$F_{C6H6,1} \cdot [\tilde{H}_{C6H6}(T_1, \text{líq}) - \tilde{H}_{C6H6}(T_3, \text{gás})]$$

$$+ F_{C6H6,2} \cdot [\tilde{H}_{C6H6}(T_2, \text{gás}) - \tilde{H}_{C6H6}(T_3, \text{gás})]$$

$$+ F_{C6H5CH3,2} \cdot [\tilde{H}_{C6H5CH3}(T_2, \text{gás}) - \tilde{H}_{C6H5CH3}(T_3, \text{gás})]$$

$$+ F_{CH4,2} \cdot [\tilde{H}_{CH4}(T_2, \text{gás}) - \tilde{H}_{CH4}(T_3, \text{gás})]$$

$$+ F_{H2,2} \cdot [\tilde{H}_{H2}(T_2, \text{gás}) - \tilde{H}_{H2}(T_3, \text{gás})] = 0$$

$$- F_{C_6H_6,1} \cdot \left[\tilde{H}_{C_6H_6}(T_3, \text{gás}) - \tilde{H}_{C_6H_6}(T_1, \text{líq}) \right]$$

$$+ F_{C_6H_6,2} \cdot \left[\tilde{H}_{C_6H_6}(T_2, \text{gás}) - \tilde{H}_{C_6H_6}(T_3, \text{gás}) \right]$$

$$+ F_{C_6H_5CH_3,2} \cdot \left[\tilde{H}_{C_6H_5CH_3}(T_2, \text{gás}) - \tilde{H}_{C_6H_5CH_3}(T_3, \text{gás}) \right]$$

$$+ F_{CH_4,2} \cdot \left[\tilde{H}_{CH_4}(T_2, \text{gás}) - \tilde{H}_{CH_4}(T_3, \text{gás}) \right]$$

$$+ F_{H_2,2} \cdot \left[\tilde{H}_{H_2}(T_2, \text{gás}) - \tilde{H}_{H_2}(T_3, \text{gás}) \right] = 0$$

$$- F_{C_6H_6,1} \cdot \left[\int_{T_1}^{T_b} \tilde{C}_{p,C_6H_6(l)}\, dT + \Delta\tilde{H}_{LV,C_6H_6}(T_b) + \int_{T_b}^{T_3} \tilde{C}_{p,C_6H_6(g)}\, dT \right]$$

$$+ F_{C_6H_6,2} \cdot \int_{T_3}^{T_2} \tilde{C}_{p,C_6H_6(g)}\, dT + F_{C_6H_5CH_3,2} \cdot \int_{T_3}^{T_2} \tilde{C}_{p,C_6H_5CH_3(g)}\, dT$$

$$+ F_{CH_4,2} \cdot \int_{T_3}^{T_2} \tilde{C}_{p,CH_4(g)}\, dT + F_{H_2,2} \cdot \int_{T_3}^{T_2} \tilde{C}_{p,H_2(g)}\, dT = 0$$

<u>obs</u>: T_b é a temperatura de saturação do C_6H_6 à pressão normal (NBP). Da tab. 2, p.637:

$T_b \cong 353{,}3\ K\ (80{,}1°C)$ @ 1 atm

$\Delta\tilde{H}_{LV}(T_b) = 30763{,}4\ \dfrac{KJ}{Kmol}$

$$- F_{C_6H_6,1} \cdot \left[a_{C_6H_6(l)} \cdot (T_b - T_1) + b_{C_6H_6(l)} \cdot \frac{(T_b^2 - T_1^2)}{2} + \right.$$

$$+ c_{C_6H_6(l)} \cdot \frac{(T_b^3 - T_1^3)}{3} + d_{C_6H_6(l)} \cdot \frac{(T_b^4 - T_1^4)}{4} + \Delta\tilde{H}_{LV,C_6H_6}(T_b) +$$

$$+ a_{C_6H_6(g)} \cdot (T_3 - T_b) + b_{C_6H_6(g)} \cdot \frac{(T_3^2 - T_b^2)}{2} + c_{C_6H_6(g)} \cdot \frac{(T_3^3 - T_b^3)}{3} +$$

$$\left. + d_{C_6H_6(g)} \cdot \frac{(T_3^4 - T_b^4)}{4} + e_{C_6H_6(g)} \cdot \frac{(T_3^5 - T_b^5)}{5} \right] +$$

$$+ \left(\sum F_{s,2} \cdot a_{s(g)} \right) \cdot (T_2 - T_3) + \left(\sum F_{s,2} \cdot b_{s(g)} \right) \cdot \frac{(T_2^2 - T_3^2)}{2} +$$

$$+ \left(\sum F_{s,2} \cdot c_{s(g)} \right) \cdot \frac{(T_2^3 - T_3^3)}{3} + \left(\sum F_{s,2} \cdot d_{s(g)} \right) \cdot \frac{(T_2^4 - T_3^4)}{4} +$$

$$+ \left(\sum F_{s,2} \cdot e_{s(g)} \right) \cdot \frac{(T_2^5 - T_3^5)}{5} = 0$$

$\tilde{C}_{p,s}(g) = a_s + b_s T + c_s T^2 + d_s T^3 + e_s T^4$ (tab. 3)

s	a_s	b_s	c_s	d_s	e_s
C_6H_6	18,5868	$-1,17439.10^{-2}$	$1,27514.10^{-3}$	$-2,07984.10^{-6}$	$1,05329.10^{-9}$
$C_6H_5CH_3$	31,8200	$-1,61654.10^{-2}$	$1,44465.10^{-3}$	$-2,28948.10^{-6}$	$1,13573.10^{-9}$
CH_4	38,3870	$-7,36639.10^{-2}$	$2,90981.10^{-4}$	$-2,63849.10^{-7}$	$8,00679.10^{-11}$
H_2	17,6386	$6,70055.10^{-2}$	$-1,31485.10^{-4}$	$1,05883.10^{-7}$	$-2,91803.10^{-11}$

$$\tilde{C}_{P,C_6H_6(l)} = \underbrace{-7,27329}_{a_{C_6H_6(l)}} + \underbrace{7,70541.10^{-1}}_{b_{C_6H_6(l)}} . T \underbrace{- 1,64818.10^{-3}}_{c_{C_6H_6(l)}} T^2 + \underbrace{1,89794.10^{-6}}_{d_{C_6H_6(l)}} T^3$$

(tab. 6, p. 657)

Nessas equações: $\tilde{C}_{p,s}$ (KJ/Kmol.K)

T (K)

$F_{C_6H_6,2} = 0,4 . 1000 = 400$ kmol/h

$F_{C_6H_5CH_3,2} = 0,3 . 1000 = 300$ Kmol/h

$F_{CH_4,2} = 0,1 . 1000 = 100$ kmol/h

$F_{H_2,2} = 0,2 . 1000 = 200$ kmol/h

$\sum F_{s,2} . a_s = 2,434714.10^4$

$\sum F_{s,2} . b_s = -3,51247$

$\sum F_{s,2} . c_s = 0,94625$

$\sum F_{s,2} . d_s = -1,524.10^{-3}$

$\sum F_{s,2} . e_s = 7,6421.10^{-7}$

$$- F_{C_6H_6,1} \cdot \Big[-7{,}27329 \cdot (353{,}3 - 293) + 7{,}70541 \cdot 10^{-1} \cdot \frac{(353{,}3^2 - 293^2)}{2} +$$

$$- 1{,}64818 \cdot 10^{-3} \frac{(353{,}3^3 - 293^3)}{3} + 1{,}89794 \cdot 10^{-6} \frac{(353{,}3^4 - 293^4)}{4} +$$

$$+ 30763{,}4 + 18{,}5868 \cdot (473 - 353{,}3) - 1{,}17439 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(473^2 - 353{,}3^2)}{2} +$$

$$+ 1{,}27514 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{(473^3 - 353{,}2^3)}{3} - 2{,}07984 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{(473^4 - 353{,}2^4)}{4} + 1{,}05929 \cdot 10^{-9} \frac{(473^5 - 353{,}2^5)}{5} \Big]$$

$$+ (2{,}4394714 \cdot 10^4) \cdot (673 - 473) + (-3{,}51247) \cdot \frac{(673^2 - 473^2)}{2} +$$

$$+ (0{,}34625) \cdot \frac{(673^3 - 473^3)}{3} + (-1{,}529 \cdot 10^{-3}) \cdot \frac{(673^4 - 473^4)}{4} +$$

$$+ (7{,}6421 \cdot 10^{-7}) \cdot \frac{(673^5 - 473^5)}{5} = 0$$

Kmol/h KJ/Kmol

$$- F_{C_6H_6,1} \cdot \Big[8065{,}35 + 30763{,}4 + 13782{,}51 \Big] +$$

$$+ \underbrace{25627764}_{KJ/h} = 0$$

$$F_{C_6H_6,1} = \frac{25627764}{52603{,}08} \simeq 487{,}1 \ Kmol/h = F_1$$

c) Como não há reações químicas, o balanço molar total fica:

$$F_1 + F_2 - F_3 = 0$$

$$487{,}1 + 1000 - F_3 = 0 \longrightarrow F_3 = 1487{,}1 \text{ Kmol/h}$$

BM C6H6: $F_{C6H6,1} + F_{C6H6,2} - F_{C6H6,3} = 0$

$$487{,}1 + 400 - F_{C6H6,3} = 0$$

$$F_{C6H6,3} = 887{,}1 \text{ Kmol/h}$$

BM C6H5CH3: $F_{C6H5CH3,2} - F_{C6H5CH3,3} = 0$

$$300 - F_{C6H5CH3,3} = 0$$

$$F_{C6H5CH3,3} = 300 \text{ Kmol/h}$$

De modo análogo: $F_{CH4,3} = 100 \text{ Kmol/h}$

$F_{H2,3} = 200 \text{ Kmol/h}$

Composição molar da corrente 3:

$$y_{C6H6,3} = \frac{887{,}1}{1487{,}1} = 0{,}5965 \quad (\sim 59{,}7\%)$$

$$y_{C6H5CH3,3} = \frac{300}{1487{,}1} = 0{,}2017 \quad (\sim 20{,}2\%)$$

$$y_{CH4,3} = \frac{100}{1487{,}1} = 0{,}0673 \quad (\sim 6{,}7\%)$$

$$y_{H2,3} = \frac{200}{1487{,}1} = 0{,}1345 \quad (\sim 13{,}5\%)$$