NOVA SCHOOL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

Introdução à Engenharia Química e Bioquímica

Aula 9 Balanços Energéticos
MIEQB
ano lectivo de 2020/2021

NOVA SCHOOL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

Sumário da aula

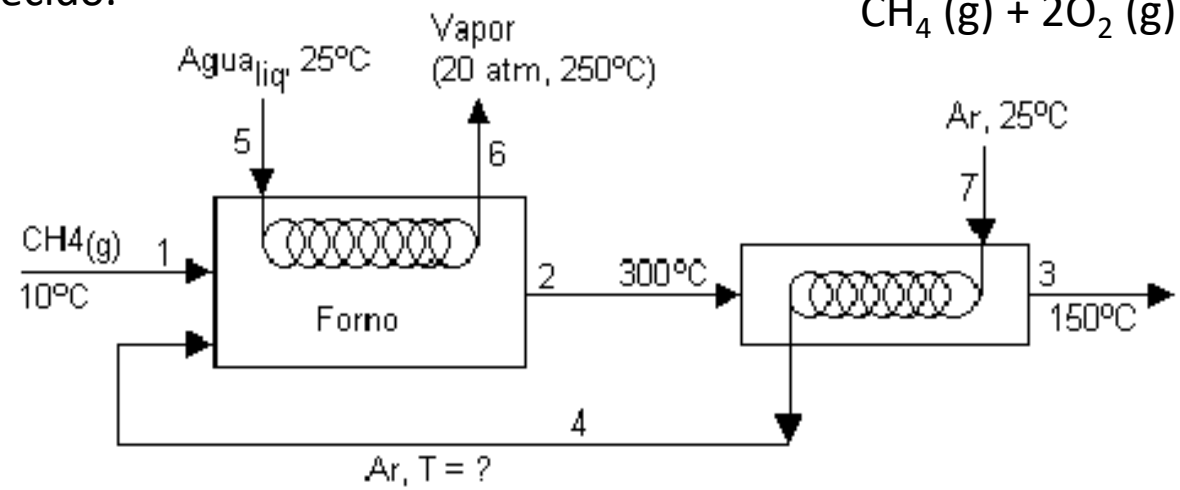
Balanços energéticos a sistemas reactivos

- Exercícios

5.24.

Numa caldeira industrial metano é completamente queimado com um excesso de O_2 (excesso de 25%). O calor assim libertado é aproveitado para a produção de vapor de água sobreaquecido.

$$CH_4\,(g) + 2O_2\,(g) \rightarrow CO_2\,(g) + 2H_2O\,(g)$$



Os gases de combustão, que saem do forno a 300ºC, são alimentados a um permutador de calor para aquecer o ar alimentado ao forno da caldeira. Sabendo que o caudal de alimentação de metano ao processo é de 45 Kmol.h^{-1} calcule:

a) a temperatura do ar alimentado ao forno.

b) a quantidade de vapor produzido por hora.

Despreze as perdas de calor no sistema; Composição molar do ar = 79% N2 + 21% O2

5.24.

Dados:

$C_p\ CH_4\ (g) = 10\ cal.mol^{-1}.K^{-1}$ $C_p\ H_2O\ (l) = 18\ cal.mol^{-1}.K^{-1}$

$C_p\ O_2\ (g) = 7.3\ cal.mol^{-1}.K^{-1}$ $C_p\ N_2\ (g) = 7.04\ cal.mol^{-1}.K^{-1}$

$C_p\ CO_2\ (g) = 10.1\ cal.mol^{-1}.K^{-1}$ $C_p\ H_2O\ (g) = 9.72\ cal.mol^{-1}.K^{-1}$

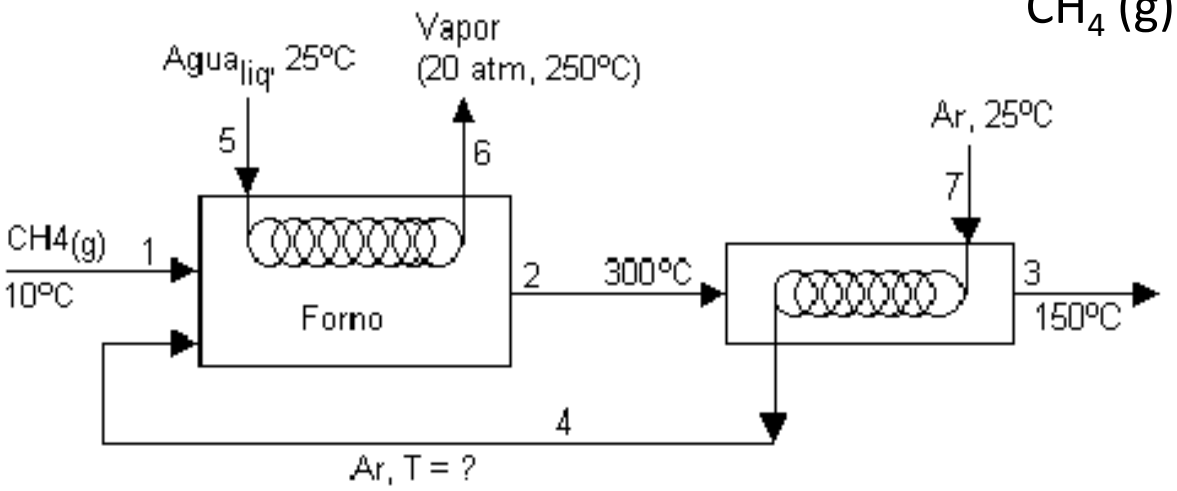
$\Delta\hat{H}_{vap.}\ (H_2O)$ a 1 atm; temp. de ebulição normal = $9.72\ Kcal.mol^{-1}$

$\Delta\hat{H}_f^{\circ}\ (CH_4)$ gasoso = $-17.89\ kcal.mol^{-1}$ $\Delta\hat{H}_f^{\circ}\ (CO_2)$ gasoso = $-94.05\ kcal.mol^{-1}$

$\Delta\hat{H}_f^{\circ}\ (H_2O)$ gasoso = $-57.8\ kcal.mol^{-1}$

5.24.

$$CH_4\,(g) + 2O_2\,(g) \rightarrow CO_2\,(g) + 2H_2O\,(g)$$



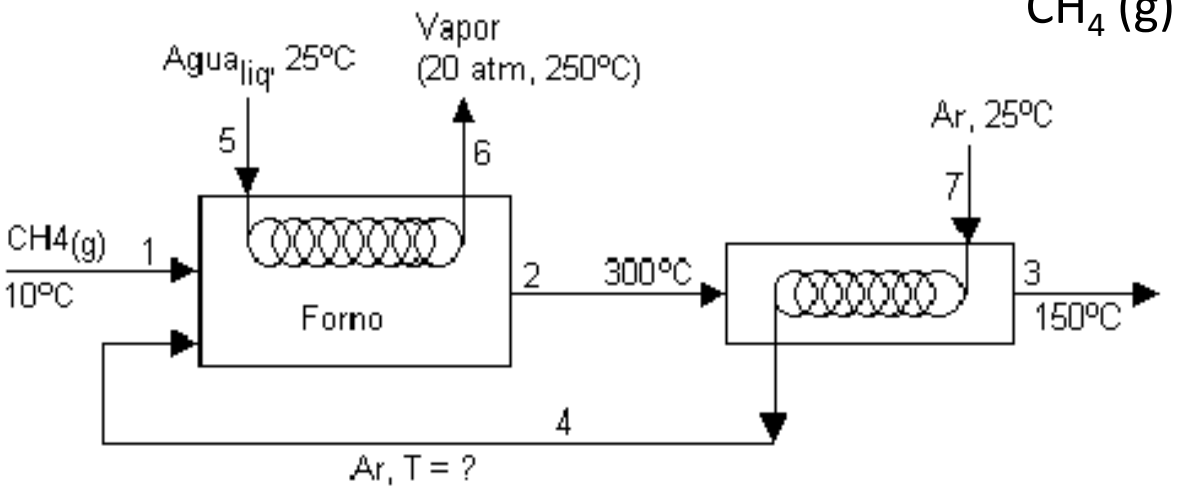
% Conversão CH_4 = 100%

% Excesso O_2 = 25%

Kmol	1	2	3	4	5	6	7
CH4	45	-	-	-	-	-	-
O2	-				-	-	
N2	-				-	-	
H2O	-			-			-
CO2	-			-	-	-	-
Total	45						

5.24.

$$CH_4\,(g) + 2O_2\,(g) \rightarrow CO_2\,(g) + 2H_2O\,(g)$$

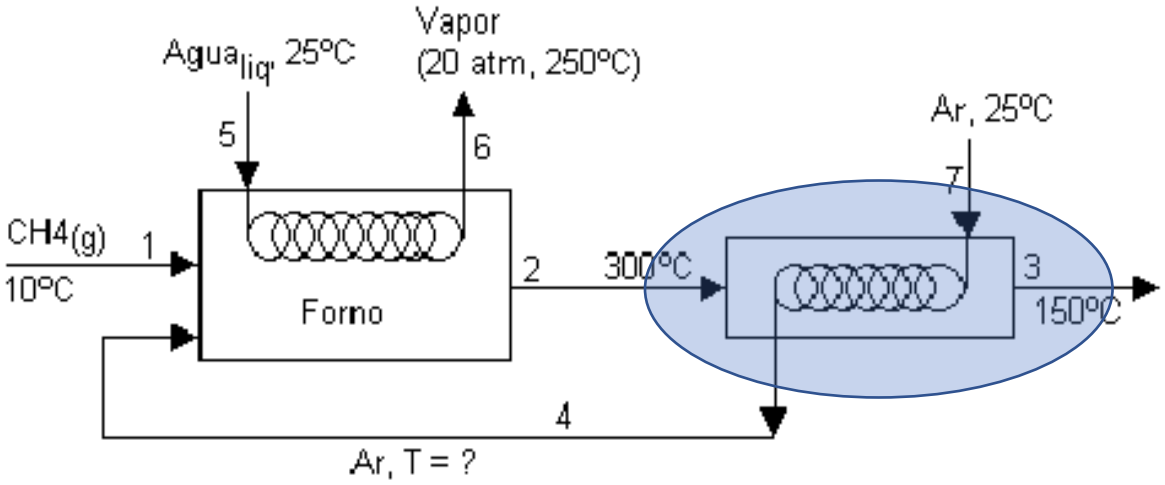


% Conversão CH4 = 100%

% Excesso O2 = 25%

Kmol	1	2	3	4	5	6	7
CH4	45	-	-	-	-	-	-
O2	-	22.5	22.5	112.5	-	-	112.5
N2	-	423.2	423.2	423.2	-	-	423.2
H2O	-	90	90	-	X	X	-
CO2	-	45	45	-	-	-	-
Total	45	580.7	580.7	536			536

5.24.a) a temperatura do ar alimentado ao forno



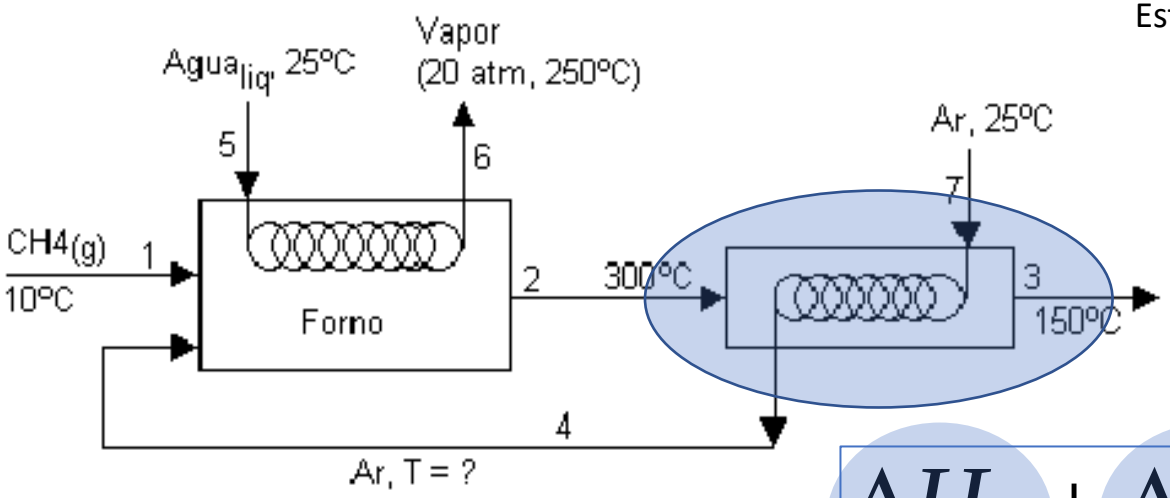
P=1 atm
T=25ºC
Estado gasoso

BE ao Permutador: $$\Delta H_2 + \Delta H_7 = \Delta H_3 + \Delta H_4$$

5.24.a) a temperatura do ar alimentado ao forno

P=1 atm
T=25ºC
Estado gasoso

kmol	1	2	3	4	5	6	7
CH4	45	-	-	-	-	-	-
O2	-	22.5	22.5	112.5	-	-	112.5
N2	-	423.2	423.2	423.2	-	-	423.2
H2O	-	90	90	-	X	X	-
CO2	-	45	45	-	-	-	-
Total	45	580.7	580.7	536			536



$$\Delta H_2 + \Delta H_7 = \Delta H_3 + \Delta H_4$$

$$\Delta H_7 = 0cal$$

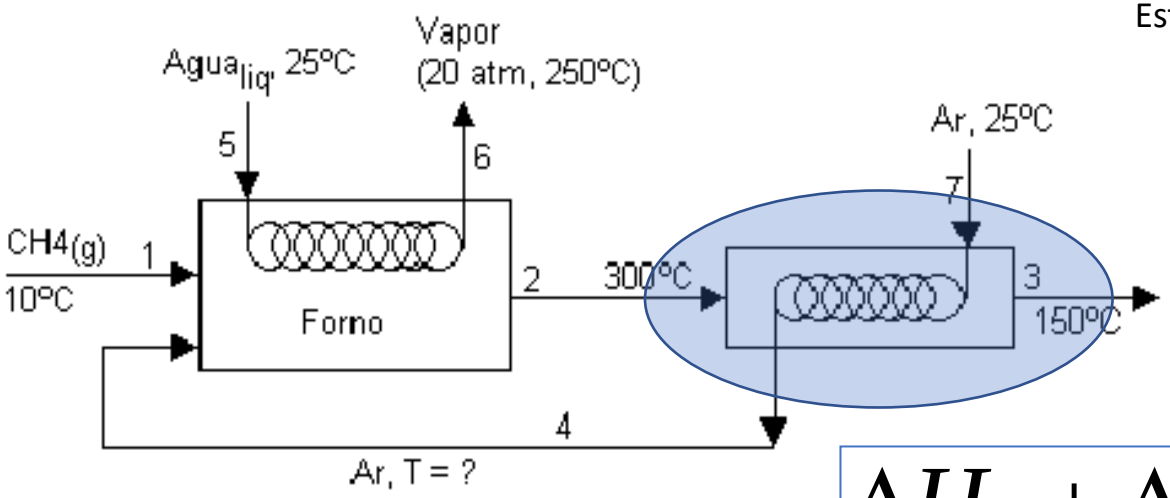
$$\Delta H_2 = \int_{25}^{300} (22.5 * Cp_{O2} + 423.2 * Cp_{N2} + 90 * Cp_{H2O} + 45 * Cp_{CO2}) dT$$
$$= 1.23 \times 10^6 \, Kcal$$

$$\Delta H_3 = \int_{25}^{150} (22.5 * Cp_{O2} + 423.2 * Cp_{N2} + 90 * Cp_{H2O} + 45 * Cp_{CO2}) dT$$
$$= 5.6 \times 10^5 \, Kcal$$

5.24.a) a temperatura do ar alimentado ao forno

P=1 atm
T=25ºC
Estado gasoso

	1	2	3	4	5	6	7
CH4	45	-	-	-	-	-	-
O2	-	22.5	22.5	112.5	-	-	112.5
N2	-	423.2	423.2	423.2	-	-	423.2
H2O	-	90	90	-	X	X	-
CO2	-	45	45	-	-	-	-
Total	45	580.7	580.7	536			536



$$\Delta H_2 + \Delta H_7 = \Delta H_3 + \Delta H_4$$

$$\Delta H_4 = \Delta H_2 + \Delta H_7 - \Delta H_3$$

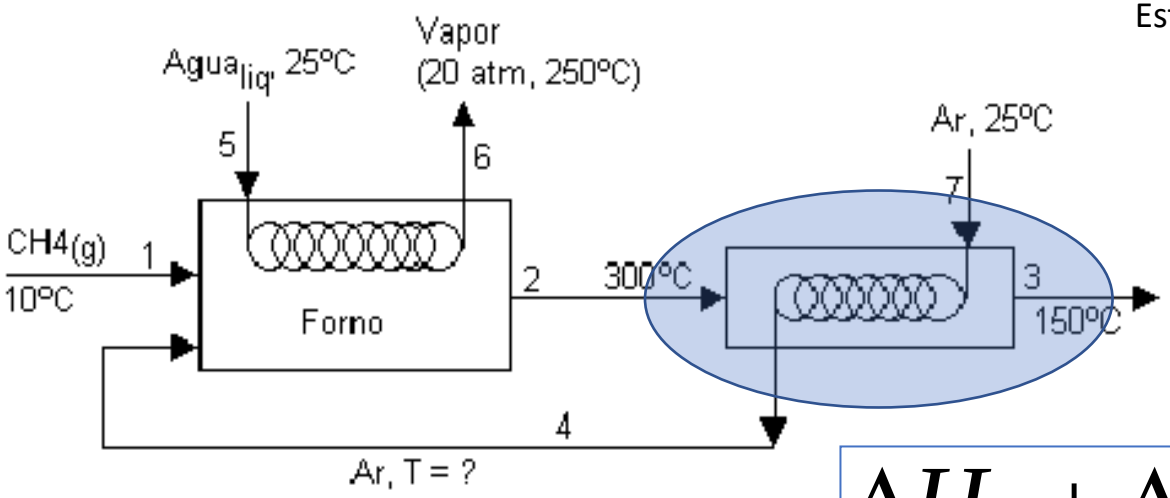
$$\Delta H_4 = 1.23 \times 10^6 + 0 - 5.6 \times 10^5$$

$$\Delta H_4 = 6.7 \times 10^5 \, Kcal$$

5.24.a) a temperatura do ar alimentado ao forno

P=1 atm
T=25ºC
Estado gasoso

	1	2	3	4	5	6	7
CH4	45	-	-	-	-	-	-
O2	-	22.5	22.5	112.5	-	-	112.5
N2	-	423.2	423.2	423.2	-	-	423.2
H2O	-	90	90	-	X	X	-
CO2	-	45	45	-	-	-	-
Total	45	580.7	580.7	536			536



$$\Delta H_2 + \Delta H_7 = \Delta H_3 + \Delta H_4$$

$$\Delta H_4 = 6.7 \times 10^5 \, Kcal$$

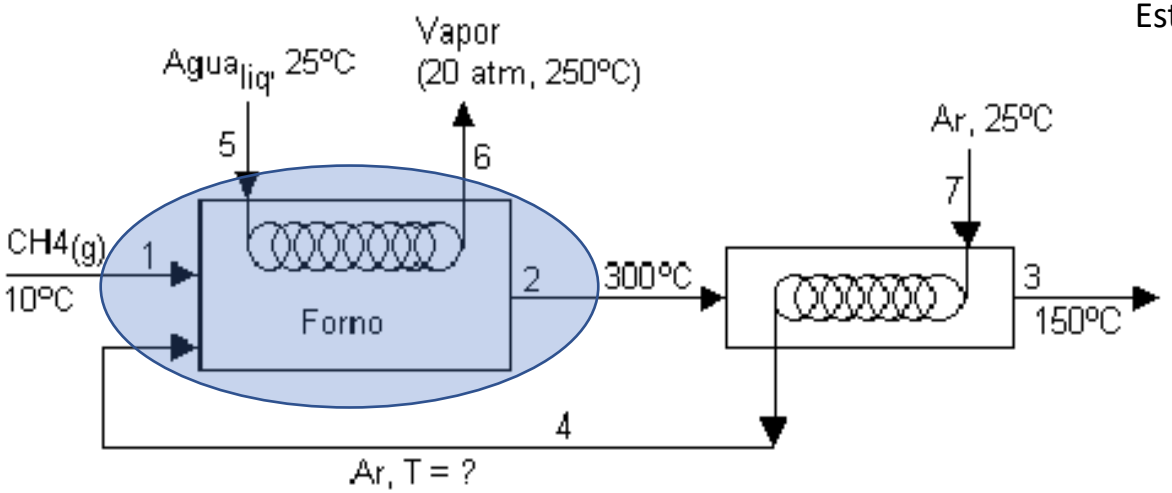
$$\Delta H_4 = \int_{25}^{T_4} (112.5 * Cp_{O2} + 423.2 * Cp_{N2}) dT = 6.7 \times 10^5$$

$\Rightarrow$ $T_4 = 201.3$ ºC

5.24.b) a quantidade de vapor produzido por hora

P=1 atm
T=25ºC
Estado gasoso

	1	2	3	4	5	6	7
CH4	45	-	-	-	-	-	-
O2	-	22.5	22.5	112.5	-	-	112.5
N2	-	423.2	423.2	423.2	-	-	423.2
H2O	-	90	90	-	X	X	-
CO2	-	45	45	-	-	-	-
Total	45	580.7	580.7	536			536



BE ao forno:

$$\Delta H_1 + \Delta H_4 + \Delta H_5 = \Delta H_2 + \Delta H_6 + \Delta H_{reaccao}$$

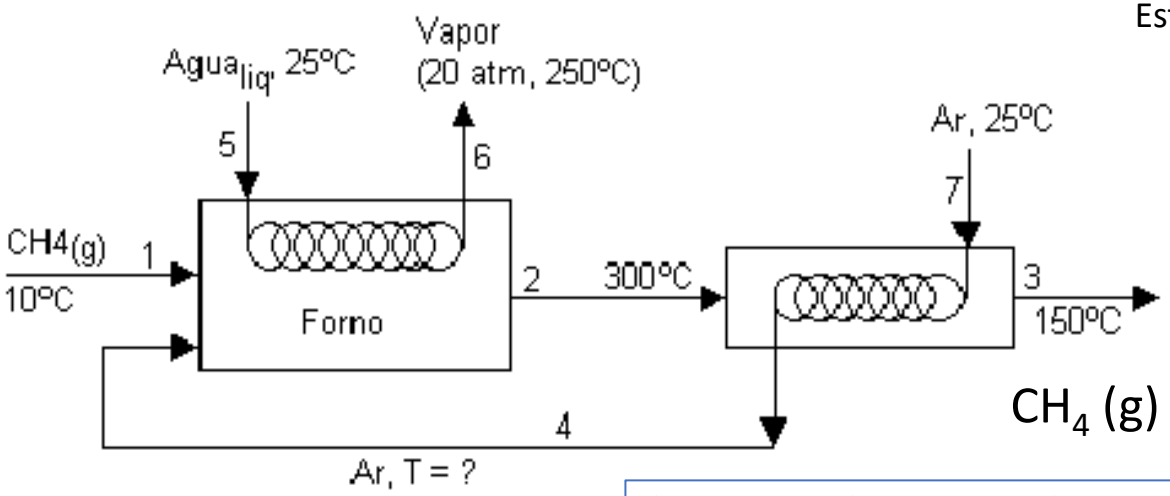
$$\Delta H_1 = \int_{25}^{10} (45 * Cp_{CH4})\,dT = -6.75 \times 10^3\ Kcal$$

$$\Delta H_4 = 6.7 \times 10^5\ Kcal \qquad \Delta H_2 = 1.23 \times 10^6\ Kcal$$

5.24.b) a quantidade de vapor produzido por hora

P=1 atm
T=25ºC
Estado gasoso

	1	2	3	4	5	6	7
CH4	45	-	-	-	-	-	-
O2	-	22.5	22.5	112.5	-	-	112.5
N2	-	423.2	423.2	423.2	-	-	423.2
H2O	-	90	90	-	X	X	-
CO2	-	45	45	-	-	-	-
Total	45	580.7	580.7	536			536



$$CH_4\,(g) + 2O_2\,(g) \rightarrow CO_2\,(g) + 2H_2O\,(g)$$

$$\Delta H_1 + \Delta H_4 + \Delta H_5 = \Delta H_2 + \Delta H_6 + \Delta H_{reaccao}$$

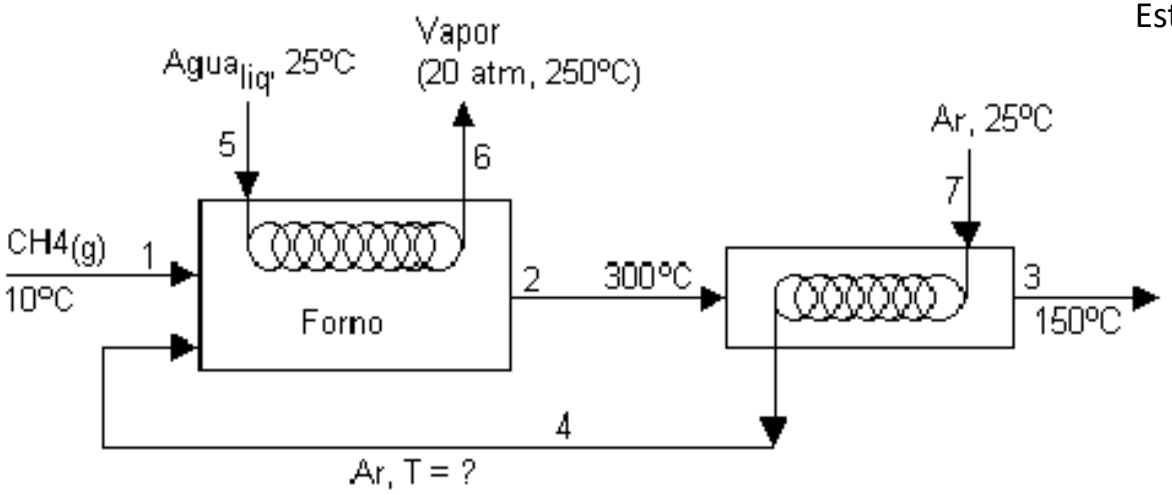
$\Delta \hat{H}_R = \Delta \hat{H}_f^{\circ}(CO_2) + 2\times\Delta \hat{H}_f^{\circ}(H_2O) - \Delta \hat{H}_f^{\circ}(CH_4)$

$\Delta \hat{H}_R = (-94.05) + 2\times(-57.8) - (-17.89) = -191.76$ Kcal/mol

$$\Delta H_R^{\circ} = -191.76\times10^3\ Kcal/Kmol \times 45 Kmol$$

$$\Delta H_R^{\circ} = -8.63\times10^6\ Kcal$$

5.24.b) a quantidade de vapor produzido por hora



P=1 atm
T=25ºC
Estado gasoso

	1	2	3	4	5	6	7
CH4	45	-	-	-	-	-	-
O2	-	22.5	22.5	112.5	-	-	112.5
N2	-	423.2	423.2	423.2	-	-	423.2
H2O	-	90	90	-	X	X	-
CO2	-	45	45	-	-	-	-
Total	45	580.7	580.7	536			536

BE ao forno:

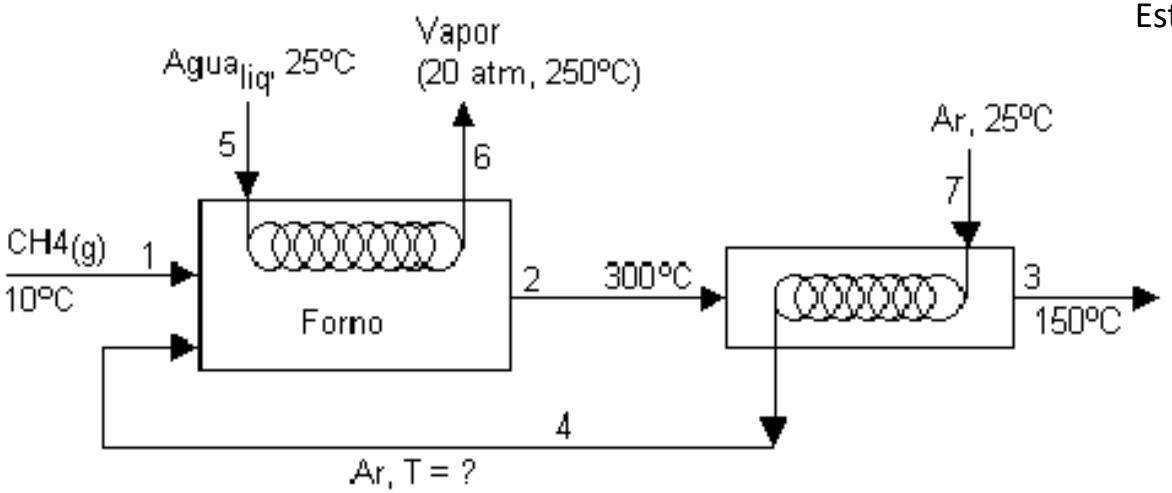
$$\Delta H_1 + \Delta H_4 + \Delta H_5 = \Delta H_2 + \Delta H_6 + \Delta H_{reaccao}$$

$$\left[\Delta H_6 - \Delta H_5\right] = \Delta H_1 + \Delta H_4 - \Delta H_2 - \Delta H_R^{\circ}$$

5.24.b) a quantidade de vapor produzido por hora

P=1 atm
T=25ºC
Estado gasoso

	1	2	3	4	5	6	7
CH4	45	-	-	-	-	-	-
O2	-	22.5	22.5	112.5	-	-	112.5
N2	-	423.2	423.2	423.2	-	-	423.2
H2O	-	90	90	-	X	X	-
CO2	-	45	45	-	-	-	-
Total	45	580.7	580.7	536			536



$$\left[\Delta H_6 - \Delta H_5\right] = \Delta H_1 + \Delta H_4 - \Delta H_2 - \Delta H_R^{o}$$

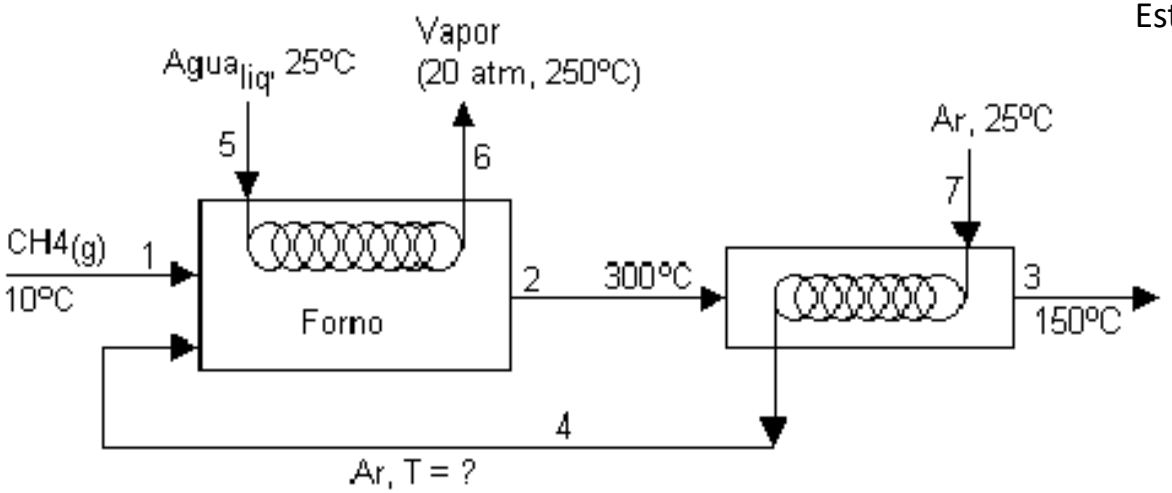
$$\Delta H_6 - \Delta H_5 = -6.75\times10^{3} + 6.7\times10^{5} - 1.23\times10^{6} - (-8.63\times10^{6})$$

$$\Delta H_6 - \Delta H_5 = 8.06\times10^{6}\, Kcal$$

5.24.b) a quantidade de vapor produzido por hora

P=1 atm
T=25ºC
Estado gasoso

	1	2	3	4	5	6	7
CH4	45	-	-	-	-	-	-
O2	-	22.5	22.5	112.5	-	-	112.5
N2	-	423.2	423.2	423.2	-	-	423.2
H2O	-	90	90	-	X	X	-
CO2	-	45	45	-	-	-	-
Total	45	580.7	580.7	536			536



$$\Delta H_6 - \Delta H_5 = \left[\int_{25}^{100} Cp_{H2O_{líquido}}\, dT + \Delta \hat{H}_{vap}^{100} + \int_{100}^{250} Cp_{H2O_{gasoso}}\, dT \right] \times n_5$$

$n_5 = n_6$!

$$\Delta H_6 - \Delta H_5 = \left(18 \times 75 + 9.72 \times 10^3 + 9.72 \times 150\right) \times n_5$$

$$1.25 \times 10^4 \times n_5 = 8.06 \times 10^6 \quad \Rightarrow \quad n_5 = 643.6 \text{ kmol}$$