

Caso 1.3

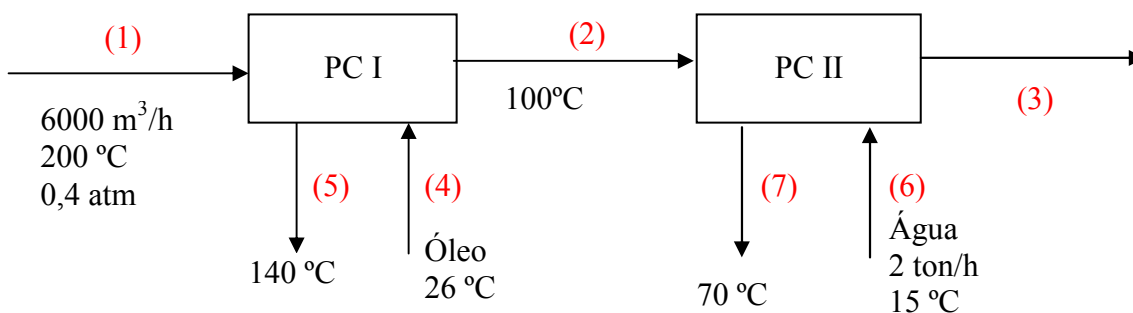
Uma refinaria produz $6000 \text{ m}^3/\text{h}$ ($0,4 \text{ atm}$; $200 \text{ }^\circ\text{C}$) de um efluente gasoso com a seguinte análise volumétrica: H_2 - 5%; CH_4 - 50%; C_2H_6 - 20%; C_3H_8 - 25%. Para separar o propano (C_3H_8) deste efluente realiza-se em primeiro lugar o arrefecimento dos gases de 200 a $100 \text{ }^\circ\text{C}$, num permutador de calor, em contra-corrente com um óleo que entra a $26 \text{ }^\circ\text{C}$ e sai do permutador a $140 \text{ }^\circ\text{C}$. Numa 2ª etapa, a mistura gasosa a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ é arrefecida num segundo permutador de calor, em contra-corrente com 2 ton/h de água. Este fluido é alimentado ao permutador a $15 \text{ }^\circ\text{C}$, sendo descarregado a $70 \text{ }^\circ\text{C}$. Calcular:

- O caudal horário de óleo que circula no primeiro permutador de calor. (R: $3,2 \text{ ton/h}$)
- A temperatura da corrente gasosa à saída do 2º permutador de calor. (R: $\cong 61 \text{ }^\circ\text{C}$)

Dados:

- Capacidade calorífica média do óleo: $0,85 \text{ cal/g, }^\circ\text{C}$

Este problema consiste no cálculo de do arrefecimento duma corrente gasosa com óleo e com água. Para se perceber melhor o problema é conveniente traçar-se o flow-sheet:



Seguidamente escolhe-se o estado de referência:

Estado de referência: 25°C , gases (g), óleo, água (l), P_T

Escolheu-se $T_{ref} = 25^\circ\text{C}$ para se poder os valores de \bar{C}_p da Tabela da Página II.28 das Tabelas de PEQ.

Olhando-se para o flow-sheet é óbvio que na resolução deste problema iremos necessitar de estimar os \bar{C}_p entre 25°C e 200°C e entre 25°C e 100°C .

Recorrendo à Tabela da Página II.28, temos:

Tabela I

\bar{C}_P em cal/mole °C	% molar	\bar{C}_P entre 25°C e 100°C	\bar{C}_P entre 25°C e 200°C
H ₂	5	6,924	6,957
CH ₄	50	8,98	9,62
C ₂ H ₆	20	13,76	15,27
C ₃ H ₈	25	Não tabelado	Não tabelado

Para o propano (C₃H₈) não há valores tabelados assim é necessário recorrer-se à Tabela da Página II.26 das Tabelas de PEQ II. Nesta tabela podemos obter polinómios do tipo:

$$C_p = a + b T + c T^2 + d T^3 \quad \text{com } T \text{ em Kelvin}$$

O C_p médio virá dado por:

$$\bar{C}_p = \int_{T_{ref}}^T \frac{a + bT + cT^2 + dT^3}{T - T_{ref}} dt = \frac{a(T - T_{ref}) + \frac{b}{2}(T^2 - T_{ref}^2) + \frac{c}{3}(T^3 - T_{ref}^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_{ref}^4)}{T - T_{ref}}$$

Os valores obtidos constam da Tabela abaixo:

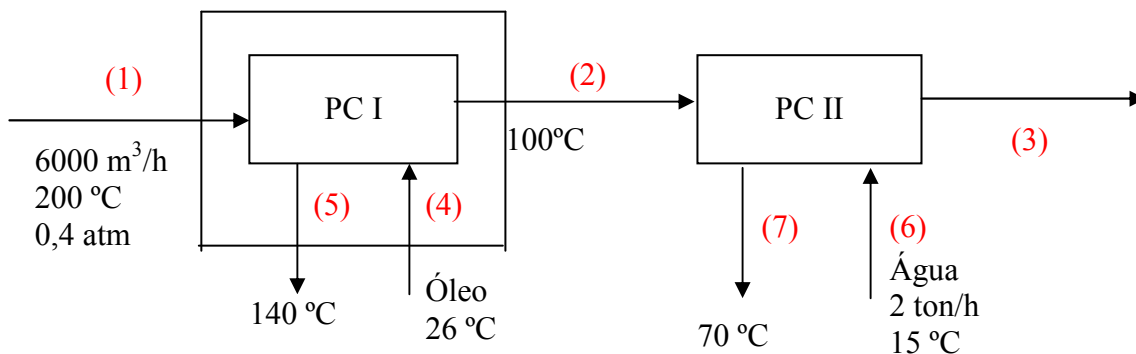
Tabela II

\bar{C}_P em cal/mole °C	% molar	\bar{C}_P entre 25°C e 100°C	\bar{C}_P entre 25°C e 200°C
H ₂	5	6,896	6,908
CH ₄	50	8,762	9,678
C ₂ H ₆	20	13,207	15,343
C ₃ H ₈	25	18,524	21,882
Média		12,497	13,723

É indiferente usarem os valores da Tabela I ou da Tabela II. Pessoalmente, nesta resolução, usei valores da Tabela II. Mas para reduzir o trabalho e tempo gasto na resolução podem usar o \bar{C}_p do C₃H₈ da Tabela II e para os restantes compostos podem usar \bar{C}_p da tabela I.

A) Cálculo do caudal de óleo

Como é óbvio irei considerar a Zona de Controle à volta do PC I:



$$\Delta H_1 + \Delta H_4 = \Delta H_2 + \Delta H_5$$

Para podermos calcular a entalpias das corrente gasosas teremos que previamente calcular o caudal molar da corrente gasosa:

$$P V = Q_m R T$$

$$(1 + 0,4) \times 6000 \times 10^3 = Q_m \times 0,082 \times (273,15 + 200)$$

$$\text{Vem} \quad Q_m = 216504,3 \text{ mole/h}$$

$$\Delta H_1 = Q_m \times \bar{C}_p \times (T - T_{ref}) = 216504,3 \times 13,723 \times (200 - 25) = 5,1995 \times 10^8 \text{ cal/h}$$

$$\Delta H_4 = Q_{\text{óleo}} \times C_p \times (T - 25) = Q_{\text{óleo}} \times 0,85 \times (26 - 25) = 0,85 Q_{\text{óleo}}$$

$$\Delta H_2 = 216504,3 \times 12,497 \times (100 - 25) = 2,0293 \times 10^8 \text{ cal/h}$$

$$\Delta H_5 = Q_{\text{óleo}} \times 0,85 \times (140 - 25) = 97,75 Q_{\text{óleo}}$$

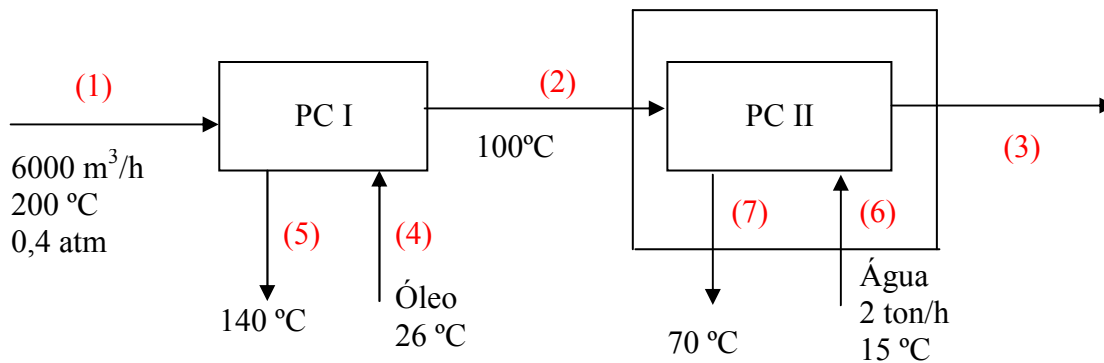
Substituindo-se:

$$5,1995 \times 10^8 + 0,85 Q_{\text{óleo}} = 2,0293 \times 10^8 + 97,75 Q_{\text{óleo}}$$

$$\text{Vem} \quad Q_{\text{óleo}} = 3,27162 \times 10^8 \text{ g/h} = \mathbf{3,27 \text{ ton/h}}$$

B) Cálculo da temperatura em (3)

Agora irei considerar a Zona de Controle à volta do PC II:



$$\Delta H_2 + \Delta H_6 = \Delta H_3 + \Delta H_7$$

$$\Delta H_2 = 2,0293 \times 10^8 \text{ cal/h}$$

$$\Delta H_3 = \text{incógnita}$$

$$\Delta H_6 = 2 \times 10^6 \times 1 \times (15 - 25) = -2 \times 10^7 \text{ cal/h}$$

$$\Delta H_7 = 2 \times 10^6 \times 1 \times (70 - 25) = 9 \times 10^7 \text{ cal/h}$$

Substituindo-se:

$$2,0293 \times 10^8 - 2 \times 10^7 = \Delta H_3 + 9 \times 10^7$$

Vem: $\Delta H_3 = 9,293 \times 10^7 \text{ cal/h}$

Agora é necessário calcular-se a temperatura a partir da entalpia. Este cálculo é simples para líquidos e sólidos onde se pode fazer a simplificação de considerarmos os C_p como constantes. Mas para os gases não podemos fazer essa simplificação. O C_p dos gases varia muito com a temperatura e é habitual recorrermos a um processo iterativo:

Processo iterativo:

1ª iteração – 1ª Arbitra-se uma temperatura inicial $\rightarrow T_1 = 100^\circ\text{C} \rightarrow \bar{C}_p = 12,497 \text{ cal/mole } ^\circ\text{C}$

Resolve-se a equação de entalpia e obtem-se uma nova temperatura T_2 :

$$\Delta H_3 = 9,293 \times 10^7 = 216504,3 \times 12,497 \times (T_2 - 25) \quad \text{vem} \quad T_2 = 59,35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Então $59,35 < T_{\text{correcta}} < 100$

Se o intervalo T_1, T_2 for pequeno (erro aceitável) pará-se com o processo. Caso contrário fazemos 2ª iteração

2ª iteração $\rightarrow T_2 = 59,35^\circ\text{C} \rightarrow \bar{C}_p = 11,980 \text{ cal/mole } ^\circ\text{C}$

\bar{C}_p em cal/mole $^\circ\text{C}$	% molar	\bar{C}_p entre 25°C e $59,35^\circ\text{C}$
H ₂	5	6,896
CH ₄	50	8,753
C ₂ H ₆	20	13,184
C ₃ H ₈	25	18,488
Média		11,980

$$\Delta H_3 = 9,293 \times 10^7 = 216504,3 \times 11,980 \times (T_3 - 25) \quad \text{vem} \quad T_3 = 60,83 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Então $59,35 < T_{\text{correcta}} < 60,83$

O intervalo já é pequeno e podemos considerar este intervalo como resposta. Se continuássemos obteríamos $T_{\text{correcta}} = 60,77 \text{ } ^\circ\text{C}$

Neste cálculo temos que usar valores de C_p da Tabela da Página II.26, pois a Tabela da Página II.28 só apresenta valores de \bar{C}_p para temperaturas de 100 em 100 $^\circ\text{C}$.