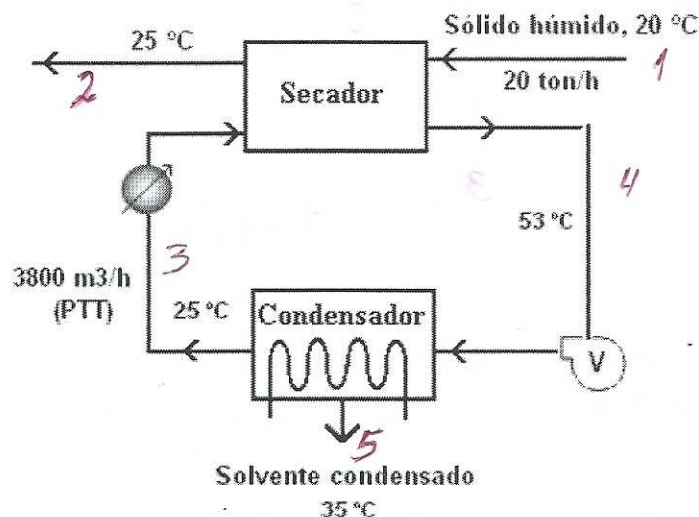


## Caso 1.7

Um sólido húmido, contendo 10% de álcool isopropílico (2-propanol,  $C_3H_8O$ ,  $MM = 60$ ) vai ser seco, em contra-corrente com azoto aquecido, tal como está representado no diagrama. À saída do secador o teor de solvente no sólido "seco" não pode exceder 2% (m/m).



O elevado preço do azoto e a toxicidade do álcool isopropílico obrigam a manter o gás de secagem em circuito fechado. Assim, a corrente gasosa descarregada do secador, a 53 °C, é arrefecida dando-se a condensação de grande parte do solvente existente na corrente gasosa.

Calcular:

- A potência calorífica fornecida ao azoto no permutador de calor. (R: 479 kW)
- O calor remover por hora, no condensador. (R:  $\cong 365$  Mcal/h)

Dados:

- Pressão no processo: - 20 mmHg
- Capacidades caloríficas médias, cal/g, °C: Sólido seco: 0,35; 2-propanol líquido: 0,65.
- Potência do ventilador instalado: 0,75 kW
- Admita não haver perdas caloríficas nas tubagens.

A resolução deste problema tem que começar pela resolução do balanço mássico.

Temos uma situação curiosa. O enunciado indica-nos dois valores que permitem começar com o balanço mássico: 20 ton/h em (1) que nos permite calcular as correntes (1) e (2) e 3800 m<sup>3</sup>/h em (3) que nos permite calcular as restantes correntes.

Temos que começar de passar o  $Q_v$  em (3) para caudal molar:

$$P \times V = Q_m \times R \times T$$

$$\frac{740}{760} \times 3800 \times 10^3 = Q_m \times 0,082 \times (25 + 273,15)$$

Vem:  $Q_m = 151339,77$  mole/h

A corrente (3) está a sair dum condensador logo está saturado em IPA (álcool isopropílico). Assim temos que recorrer às Tabelas para obter o  $P_v$  do IPA a 25°C.

$P_v$  do IPA a 25°C (Tabela da Página I.7)

T (°C)	1/T (K <sup>-1</sup> )	$P_v$ (mmHg)	ln $P_v$
23,8	$3,3676 \times 10^{-3}$	40	3,6889
25	$3,3540 \times 10^{-3}$		3,7628
30,5	$3,2933 \times 10^{-3}$	60	4,0943

$P_v = 43,07$  mmHg

$$y_{IPA} = \frac{43,07}{740} = 0,0582$$

IPA em (3) =  $Q_{m3} \times y_{IPA} = 151339,77 \times 0,0582 = 8807,97$  mole/h

Na Tabela abaixo apresenta-se o Balanço mássico completo:

	1 – kg/h	1- mole/h	2 – kg/h	2– mole/h	3– mole/h	4– mole/h	5– mole/h
Sólido	18000		18000				
IPA	2000	33333,33	367,35	6122,50	8807,97	36018,80	27210,83
N <sub>2</sub>					142531,80	142531,80	
Total	20000		18367,35		151339,77	178550,60	27210,83

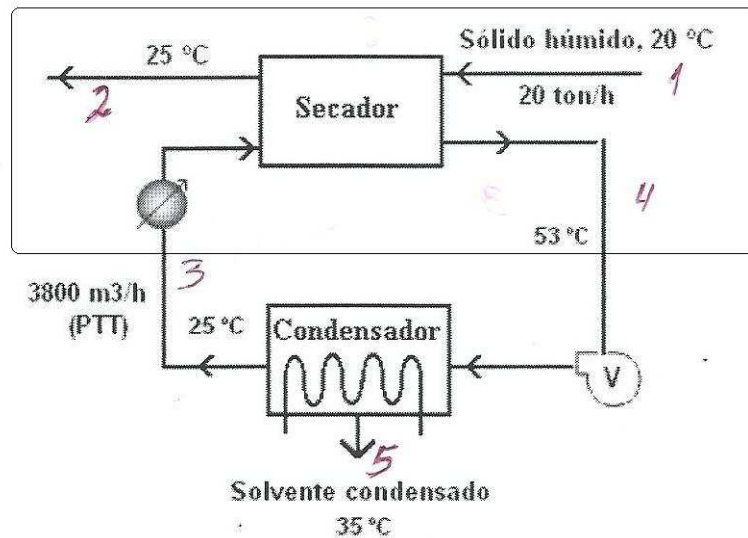
Nas correntes (1) e (2) temos sólidos com % (m/m) logo interessa dazer o Balanço mássico em kg. Nas restantes correntes temos gases logo interessa fazer o Balanço mássico em moles. Para atender aos dois critérios é preferível fazer-se o Balanço simultaneamene tem moles e kg tal como apresentado na Tabel de entradas e saídas.

Agora podemos escolher o Estado de Referência:

Estado de Referência: 25°C, IPA (l), N<sub>2</sub> (g), sólido (c),  $P_T$

### **A) Potência calorífica fornecida ao azoto no permutador de calor**

Com a informação disponível temos que escolher a zona de controle em volta do secador, mas de modo a incluir o permutador de calor



Vem:  $\Delta H_1 + \Delta H_3 + P = \Delta H_2 + \Delta H_4$

$C_p$  do IPA líquido = 0,65 cal/g °C (do enunciado)

$C_p$  do sólido = 0,35 cal/g °C (do enunciado)

$$\Delta H_1 = (18000 \times 10^3 \times 0,35 + 2000 \times 10^3 \times 0,65) \times (20 - 25) = -3,8 \times 10^7 \text{ cal/h}$$

$$\Delta H_2 = 0$$

No cálculo de  $\Delta H_3$  e  $\Delta H_4$  temos que entrar com a mudança de fase líquido  $\rightarrow$  vapor:

$$\Delta H = \sum m_i \times \bar{C}_{pi} \times (T - T_{ref}) + \sum n_j \times \Delta H_v$$

$$\Delta H_v \text{ do IPA} = 159,35 \text{ cal/g a } 82,3^\circ\text{C} \text{ (Tabela da Página II.9)}$$

Mas precisamos do  $\Delta H_v$  a outra temperatura (25°C), assim temos que usar a equação de Watson:

Eq. De Watson 
$$\frac{\Delta H_V^{T_1}}{\Delta H_V^{T_2}} = \left( \frac{T_c - T_1}{T_c - T_2} \right)^{0,38}$$

$$\text{Temperatura crítica do IPA} = 235^\circ\text{C} \text{ (Tabela da Página II.2)}$$

Vem:

$$\Delta H_V^{25^\circ\text{C}} = 159,35 \left( \frac{235 - 25}{235 - 82,3} \right)^{0,38} = 179,86 \text{ cal/g} = 10791,65 \text{ cal/mole}$$

**Nota:** Não precisamos do  $\Delta H_v$  do IPA a 53°C (para o cálculo de  $\Delta H_4$ ) pois vamos considerar que o IPA vaporiza a 25°C e depois o IPA é aquecido no estado gasoso entre 25°C e 35°C usando o  $C_p$  do vapor.

Mas também poderíamos usar o  $\Delta H_v$  do IPA a 53°C mas então no cálculo do  $\Delta H_4$  teríamos que usar o  $C_p$  do IPA líquido.

Precisamos de calcular os  $\bar{C}_p$  do  $N_2$  e do IPA entre 25°C e 53°C:

**N<sub>2</sub>** (Tabela da Página II.26, low range)

$$C_p = 6,903 - 0,03753 \times 10^{-2} T + 0,193 \times 10^{-5} T^2 - 0,6861 \times 10^{-9} T^3$$

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

$$\bar{C}_p \text{ do } N_2 \text{ entre 25 e 53°C} = 6,953 \text{ cal/mole K}$$

**IPA** (Tabela da Página II.26)

$$C_p = 0,793 + 8,502 \times 10^{-2} T - 5,016 \times 10^{-5} T^2 + 11,56 \times 10^{-9} T^3$$

$$\bar{C}_p \text{ do } N_2 \text{ entre 25 e 53°C} = 22,794 \text{ cal/mole K}$$

$$\Delta H_3 = 8807,97 \times 10791,65 = 9,50525 \times 10^7 \text{ cal/h}$$

Nota: o cálculo de  $\Delta H_3$  é simplificado pois  $T = T_{ref}$

$$\Delta H_4 = (36018,80 \times 22,794 + 142531,8 \times 6,953) \times (53 - 25) + 36018,8 \times 10791,65 = 4,39439 \times 10^8 \text{ cal/h}$$

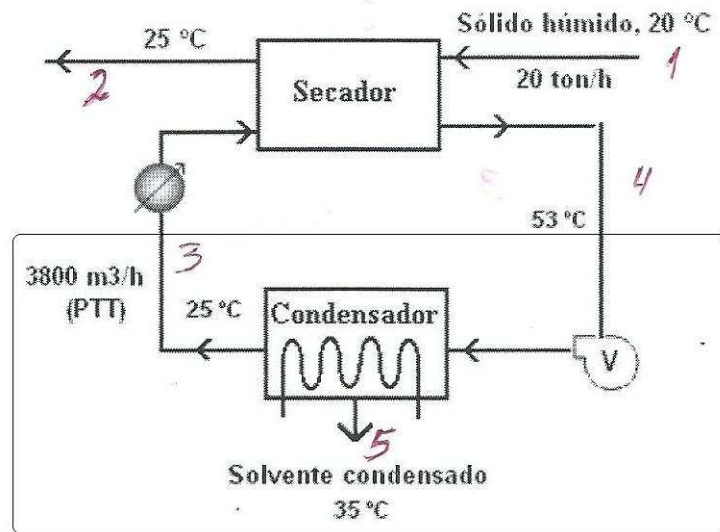
Substituindo-se:  $\Delta H_1 + \Delta H_3 + P = \Delta H_2 + \Delta H_4$

$$-3,8 \times 10^7 + 9,50525 \times 10^7 + P = 0 + 4,39439 \times 10^8$$

Resolvendo-se vem:  $P = 3,82387 \times 10^8 \text{ cal/h} = 444 \text{ kW}$

## B) Calor removido no condensador

Agora temos que seleccionar uma zona de controle em volta do condensador:



$$\text{Vem: } \Delta H_4 + V = \Delta H_3 + \Delta H_5 + Q_{\text{Ret}}$$

$$\Delta H_4 = 4,39439 \times 10^8 \text{ cal/h}$$

$$\Delta H_3 = 9,50525 \times 10^7 \text{ cal/h}$$

$$\Delta H_5 = 27210,83 \times 60 \times 0,65 \times (35 - 25) = 1,06122 \times 10^7 \text{ cal/h}$$

$$V - \text{potência do ventilador} = 0,75 \text{ kW (de enunciado)}$$

$$V = 0,75 \times 1000 \times 3600 / 4,18 = 6,45933 \times 10^5 \text{ cal/h}$$

Substituindo-se:

$$4,39439 \times 10^8 + 6,45933 \times 10^5 = 9,50525 \times 10^7 + 1,06122 \times 10^7 + Q_{\text{Ret}}$$

$$\text{Resolvendo-se vem: } Q_{\text{Ret}} = 3,3442 \times 10^8 \text{ cal/h} = 334 \text{ Mcal/h}$$