



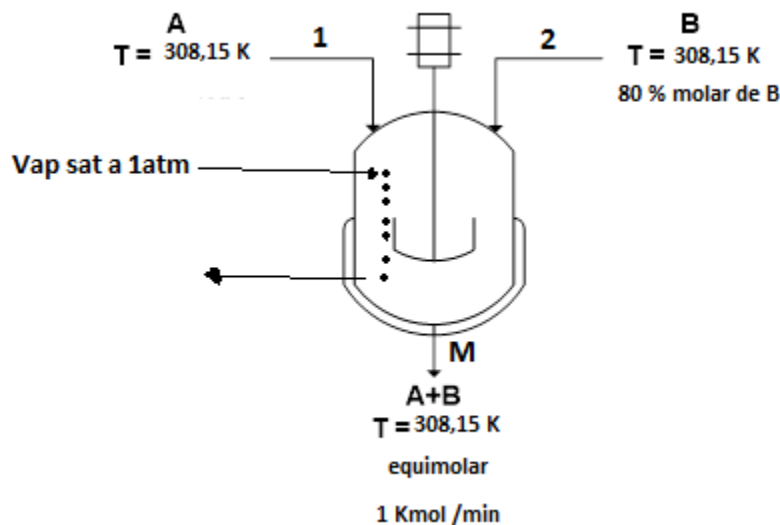
Universidad Simón Bolívar

Departamento de Termodinámica y Fenómenos de Transferencia

De Ponte Moniz, Luis Gabriel

PROBLEMAS DE PROPIEDADES PARCIALES MOLARES

PROBLEMA 1: Se desea preparar 1 Kmol/ min de una mezcla equimolar de Butirato de Butilo BUT(A) con n-decano n-C10 (B). Para esto se mezcla una corriente con una composición de 80% molar en nC10 con una corriente de BUT puro. El mezclado se lleva a cabo isotérmicamente a 308,15K.



El calor de mezclado a esta temperatura viene expresado mediante el siguiente polinomio de Redlich-kister truncado al tercer término:

$$\Delta h = x_1 x_2 (A_0 + A_1 (x_1 - x_2) + A_2 (x_1 - x_2)^2) \quad \left(\frac{Kj}{Kmol} \right)$$

Donde $A_0 = 3101,7$ $A_1 = -131,8$ $A_2 = 184,1$

Como el mezclado es endotérmico (absorbe calor de los alrededores) entonces se utiliza vapor de servicio a 1atm que sale del mezclador como liquido saturado ($h_{fg} = 2256,1 \frac{Kj}{Kg}$)

- a) Calcule los flujos máscicos requeridos en las corrientes de entrada al mezclador.

- b) Calcule el calor absorbido por la mezcla y la cantidad de vapor (Kg/min) requerida para el mezclado
- c) Determine el contenido entalpico molar parcial de cada uno de los componentes a la salida del mezclador. (considere que las entalpias de las soluciones puras son cero).
- d) Halle las entalpias molares parciales a dilución infinita.

Solución a: Se procede a realizar un Balance de masa considerando las corrientes de mezclado únicamente.

$$\frac{dn}{dt} = \sum_{i=1}^N \dot{n}_e - \sum_{i=1}^N \dot{n}_s$$

Como el sistema trabaja en estado estacionario se obtiene que $\frac{dn}{dt} = 0$ por tanto se obtiene que:

$$\sum_{i=1}^N \dot{n}_e = \sum_{i=1}^N \dot{n}_s$$

$$\dot{n}_1 + \dot{n}_2 = \dot{n}_M$$

$$\dot{n}_1 + \dot{n}_2 = \frac{1 \text{ Kmol}}{\text{min}}$$

Realizando un balance de masa para el componente B se obtiene

$$X_{B,M} \dot{n}_M = X_{B,1} \dot{n}_1 + X_{B,2} \dot{n}_2$$

$$0,5 \frac{\text{Kmol}}{\text{min}} = 0,8 \dot{n}_2$$

$$\dot{n}_2 = 0,625 \frac{\text{Kmol}}{\text{min}}$$

$$\dot{n}_1 = \dot{n}_M - \dot{n}_2 = 0,375 \frac{\text{Kmol}}{\text{min}}$$

Solución b: Realizando un balance de energía en el mezclador, tomando en cuenta solo las corrientes de mezcla, por lo cual debe aparecer el calor que se absorbe de la corriente de servicio:

$$\left(\frac{dE}{dt}\right)_{sis} = \sum_{i=1}^n \dot{n}_e \left(\frac{1}{2} v_e^2 + z_e g + h_e\right) - \sum_{i=1}^n \dot{n}_s \left(\frac{1}{2} v_s^2 + z_s g + h_s\right) + \dot{Q} - \dot{W}$$

Tomando en cuenta el estado estacionario, considerando que no hay trabajo de flujo y despreciando las contribuciones de energía cinética y potencial se tiene que:

$$\sum \dot{n}_s h_s - \sum \dot{n}_e h_e = \dot{Q}$$

$$\dot{Q} = \dot{n}_M h_{sol_M} - \dot{n}_1 h_{sol_1} - \dot{n}_2 h_{sol_2}$$

Considerando la definición de entalpia de mezclado se tiene:

$$\Delta h = h_{sol} - \sum_{i=1}^N x_i h_i = h_{sol} - x_1 h_1 - x_2 h_2$$

Por tanto las entalpias de solución de las corrientes del problema planteado se pueden calcular

$$h_{sol_i} = \Delta h_i + x_{A,i} h_A + x_{B,i} h_B$$

$$\Delta h_i = x_{A,i} x_{B,i} \left(A_0 + A_1(x_{A,i} - x_{B,i}) + A_2(x_{A,i} - x_{B,i})^2 \right) \left(\frac{Kj}{Kmol} \right)$$

Donde el sub-índice i indica el número de la corriente a la cual se le quiere determinar la entalpia. Además, h_A y h_B representan los valores de las entalpias de los componentes puros a la temperatura de la corriente de solución.

De esta forma podemos determinar las entalpias de solución de todas las corrientes:

Corriente 1:

$$x_{A,1} = 1 \quad x_{B,1} = 0 \quad \Delta h_1 = 0$$

Observación: se evalúa $x_{A,1} = 1$ y $x_{B,1} = 0$ en la ecuación de Δh y se obtiene el valor de la entalpia de mezclado en esa corriente:

$$h_{sol_1} = \Delta h_1 + x_{A,1} h_A + x_{B,1} h_B = h_A = 0$$

Las Entalpias de los componentes puros se definen como cero a la temperatura de 308,15 K acorde con los datos que se nos dan en el problema.

Corriente 2:

$$x_{A,2} = 0,2 \quad x_{B,2} = 0,8$$

$$\Delta h_2 = x_{A,2} x_{B,2} \left(3101,7 - 131,8(x_{A,2} - x_{B,2}) + 184,1(x_{A,i} - x_{B,i})^2 \right) = 519,53 \frac{Kj}{Kmol}$$

$$h_{sol_2} = \Delta h_2 + x_{A,2} h_A + x_{B,2} h_B = \Delta h_2 + 0,2 h_A + 0,8 h_B = \Delta h_2$$

Observación: las entalpias de solución son equivalentes a las entalpias de mezclado en el caso particular de este problema, porque las entalpias de los componentes puros se definen como cero a 308,15 K.

Corriente de Mezcla:

$$x_{A,M} = 0,5 \quad x_{B,M} = 0,5$$

$$\Delta h_M = x_{A,M} x_{B,M} \left(3101,7 - 131,8(x_{A,M} - x_{B,M}) + 184,1(x_{A,M} - x_{B,M})^2 \right)$$

$$\Delta h_M = \frac{3101,7}{4} = 775,425 \frac{Kj}{Kmol}$$

$$h_{sol_M} = \Delta h_M + x_{A,M} h_A + x_{B,M} h_B = \Delta h_M + 0,5 h_A + 0,5 h_B = \Delta h_M$$

Sustituyendo en el Balance de energía se obtiene que:

$$\dot{Q} = \dot{n}_M h_{sol_M} - \dot{n}_1 h_{sol_1} - \dot{n}_2 h_{sol_2} = \dot{n}_M \Delta h_M - \dot{n}_1 \Delta h_1 - \dot{n}_2 \Delta h_2$$

Por otra parte se conoce que \dot{Q} es el calor que retira el sistema a la corriente de servicio con la cual esta en contacto para que ocurra el mezclado por tanto:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{ser}(h_{fg@1atm})$$

De esta forma se cumple que:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{ser}(h_{fg@1atm}) &= \dot{n}_M \Delta h_M - \dot{n}_1 \Delta h_1 - \dot{n}_2 \Delta h_2 \\ \dot{m}_{ser} \left(2256,1 \frac{Kj}{kg} \right) &= \frac{1 \text{ Kmol}}{\text{min}} 775,425 \frac{Kj}{\text{Kmol}} - \frac{0,375 \text{ Kmol}}{\text{min}} 0 \frac{Kj}{\text{Kmol}} - \frac{0,625 \text{ Kmol}}{\text{min}} 519,529 \frac{Kj}{\text{Kmol}} \\ \dot{m}_{ser} \left(2256,1 \frac{Kj}{kg} \right) &= 450,72 \frac{Kj}{\text{min}} \\ \dot{m}_{ser} &= \frac{450,72 \frac{Kj}{\text{min}}}{2256,1 \frac{Kj}{kg}} = 0,200 \frac{Kg}{\text{min}} \end{aligned}$$

Solución c: Determinamos la entalpia de la solución en función de la composición:

$$\Delta h = h_{sol} - \sum_{i=1}^N x_i h_i = h_{sol} - x_1 h_1 - x_2 h_2$$

$$h_{sol} = \Delta h + x_A h_A + x_B h_B = \Delta h = x_A x_B (A_0 + A_1(x_A - x_B) + A_2(x_A - x_B)^2)$$

Buscamos la derivada de la solución con respecto a la composición:

$$\frac{dh_{sol}}{dx_A} = \frac{d}{dx_A} ((x_A - x_A^2)(A_0 + A_1(2x_A - 1) + A_2(2x_A - 1)^2))$$

Observación: Se sustituye $x_B = (1 - x_A)$ en la ecuación de h_{sol} y se procede a aplicar la regla del producto de la derivación:

$$\frac{dh_{sol}}{dx_A} = (1 - 2x_A)(A_0 + A_1(2x_A - 1) + A_2(2x_A - 1)^2) + (x_A - x_A^2)(2A_1 + 4 A_2(2x_A - 1))$$

De esta forma al evaluar en $x_A = x_{A,M} = 0,5 = x_{B,M}$ se tiene:

$$h_{sol} = x_A x_B (A_0 + A_1(x_A - x_B) + A_2(x_A - x_B)^2) = \frac{A_0}{4}$$

$$\frac{dh_{sol}}{dx_A} = (1 - 2x_A)(A_0 + A_1(2x_A - 1) + A_2(2x_A - 1)^2) + (x_A - x_A^2)(2A_1 + 4 A_2(2x_A - 1))$$

$$\frac{dh_{sol}}{dx_A} = \frac{A_1}{2}$$

Después de encontrar h_{sol} y $\frac{dh_{sol}}{dx_A}$ para la corriente de mezcla procedemos a calcular las entalpías parciales molares con las ecuaciones que se deducen para mezclas binarias:

$$\hat{h}_A = h_{sol} + x_B \frac{dh_{sol}}{dx_A} = \frac{A_0}{4} + \frac{1}{2} \frac{A_1}{2} = \frac{A_0 + A_1}{4} = 742,475 \frac{Kj}{Kmol}$$

$$\hat{h}_B = h_{sol} - x_A \frac{dh_{sol}}{dx_A} = \frac{A_0}{4} - \frac{1}{2} \frac{A_1}{2} = \frac{A_0 - A_1}{4} = 808,375 \frac{Kj}{Kmol}$$

Observación: las propiedades parciales molares dependen de la composición de la solución. Si se calcularan las propiedades parciales en la corriente 2 habría que considerar las composiciones de la misma al momento de evaluar h_{sol} y $\frac{dh_{sol}}{dx_A}$ lo que daría valores distintos.

Solución d: El componente A infinitamente diluido en B, significa que la composición de A es sumamente pequeña con respecto a la de B. Por lo cual, $x_A \rightarrow 0$ y $x_B \rightarrow 1$. De esta forma tenemos:

$$h_A^\infty = \lim_{x_A \rightarrow 0} \hat{h}_A = \lim_{x_A \rightarrow 0} \left(h_{sol} + x_B \frac{dh_{sol}}{dx_A} \right) = \lim_{x_A \rightarrow 0} h_{sol} + \lim_{x_A \rightarrow 0} x_B \frac{dh_{sol}}{dx_A}$$

Evaluando h_{sol} y $\frac{dh_{sol}}{dx_A}$ en $x_A = 0$ se obtiene que:

$$h_A^\infty = 0 + (A_0 - A_1 + A_2) = 3417,6 \frac{Kj}{Kmol}$$

El componente B infinitamente diluido en A, significa que la composición de B es sumamente pequeña con respecto a la de A. Por lo cual, $x_A \rightarrow 1$ y $x_B \rightarrow 0$. De esta forma tenemos

$$h_B^\infty = \lim_{x_A \rightarrow 1} \hat{h}_B = \lim_{x_A \rightarrow 1} \left(h_{sol} - x_A \frac{dh_{sol}}{dx_A} \right) = \lim_{x_A \rightarrow 1} h_{sol} - \lim_{x_A \rightarrow 1} x_A \frac{dh_{sol}}{dx_A}$$

Evaluando h_{sol} y $\frac{dh_{sol}}{dx_A}$ en $x_A = 1$ se obtiene que:

$$h_B^\infty = 0 - [-(A_0 + A_1 + A_2)] = 3159,8 \frac{Kj}{Kmol}$$

PROBLEMA 2: Se dispone de 10 m³ de una solución al 96% de etanol (1) en agua (en peso), que se desea diluir hasta un 50% en peso agregando agua pura ($\rho = 0,991 \text{ g/m}^3$) los volúmenes parciales molares de H₂O y etanol son 14,1 y 58,1 cm³/mol en la solución al 96% y 17,11 y 56 cm³/mol en la solución al 50% en peso.

¿Qué volumen de Agua debe agregarse y cuál debe ser el volumen final de la solución?

Compuesto	PM (g/mol)	w	\hat{v} (cm ³ /mol)	\hat{v} (cm ³ /g)
Etanol (1)	46,069	0,96	58,1	1,26115
H ₂ O (2)	18,015	0,04	14,61	0,81099

El volumen parcial en peso se determinó dividiendo entre el peso molecular a los volúmenes parciales molares. El volumen específico de la mezcla lo determinamos con la relación que existe con las propiedades parciales:

$$v_{sol} = \sum_{i=1}^N w_i \hat{v}_i = (0,96)(1,26115) + (0,04)(0,81099) = 1,24314 \frac{cm^3}{g}$$

Obtenemos la masa total de la mezcla:

$$M_{sol} = \frac{V}{v_{sol}} = \frac{10m^3}{1,24314 \frac{cm^3}{g}} * \frac{(100 cm)^3}{1m^3} * \frac{1 Kg}{1000g} = \frac{10^7 cm^3}{1,24314 \frac{cm^3}{g}} * \frac{1 Kg}{1000g} = 8044,15 Kg$$

$$M_1 = w_1 M_{sol} = 7722,38 Kg$$

$$M_2 = w_2 M_{sol} = 321,77 Kg$$

Estado final, después de diluir la solución:

Compuesto	PM (g/mol)	w	\hat{v} (cm ³ /mol)	\hat{v} (cm ³ /g)
Etanol (1)	46,069	0,50	56,0	1,215568
H ₂ O (2)	18,015	0,50	17,11	0,94976

Como $w_1 = w_2 = 0,5$ se tiene que cumplir $M_2^* = w_2 M_{sol} = M_1 = w_1 M_{sol}$. Donde M_2^* es la masa de agua inicial más la masa de agua añadida. Es importante observar que la masa de etanol en el estado final es la misma que en el estado inicial, mientras que la de agua aumento.

$$M_2 + M_{agregada} = M_1 = 7722,38 Kg$$

$$M_{agregada} = M_1 - M_2 = 7400,61 Kg$$

El volumen de agua que se debe agregar es equivalente:

$$V_{agua_agregada} = \frac{M_{agregada}}{\rho_{agua}} = \frac{7400,61 Kg}{991 \frac{Kg}{m^3}} = 7,467m^3$$

Para determinar el volumen de solución final es necesario conocer la masa final y el volumen específico final de la solución:

$$v_{sol} = \sum_{i=1}^N w_i \hat{v}_i = (0,50)(1,215568) + (0,50)(0,949764) = 1,08266 \frac{cm^3}{g}$$

Tenemos que la masa final es la masa de la solución inicial más la masa de agua agregada:

$$M_{sol\ final} = 8044,15 Kg + 7400,61 Kg = 15444,76 Kg$$

De esta forma se obtiene que:

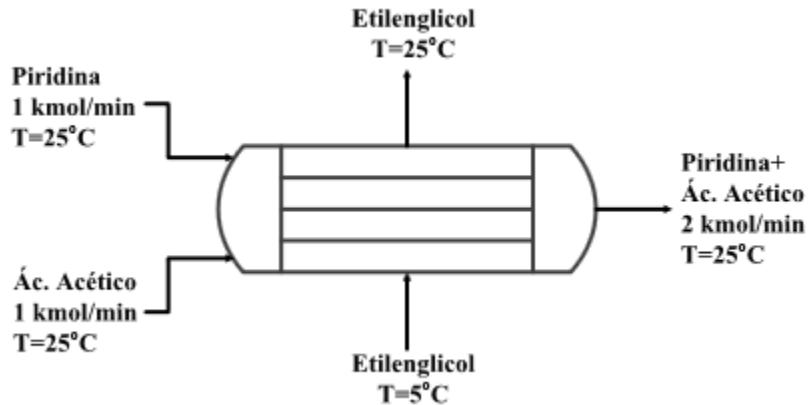
$$V_{sol\ final} = M_{sol\ final} v_{sol} = 15444,76 Kg * 1,08266 \frac{cm^3}{g} * \frac{1000g}{1 Kg} * \frac{1m^3}{(100 cm)^3} = 16,941m^3$$

Observación: Note que el volumen final de la solución es diferente a $17,4 m^3$ que es el equivalente a sumar el volumen inicial de $10 m^3$ con el volumen agregado de $7,4 m^3$.

PROBLEMA 3: Se mezcla 1 $Kmol/min$ de piridina (1) y 1 $Kmol/min$ de ácido acético (2) a $25^{\circ}C$. El calor de mezclado es exotérmico y es absorbido por el etilenglicol ($C_p = 2,8 \frac{KJ}{Kg K}$) que entra a $5^{\circ}C$ y sale a $25^{\circ}C$. El calor de mezclado por mol está dado por el siguiente polinomio de Redlich-Kister truncado al cuarto término:

$$\Delta h = x_1 x_2 (A + B(x_1 - x_2) + C(x_1 - x_2)^2 + D(x_1 - x_2)^3) \quad KJ/Kmol$$

Donde $A = -18917.03$ $B = 6682.53$ $C = -604.12$ $D = 4301.18$



- Calcule el flujo másico de etilenglicol requerido en Kg/min
- Encuentre las entalpías molares parciales a la salida del mezclador. Considere que a $25^{\circ}C$, las entalpías de las sustancias puras son $h_1 = 161000 J/mol$ $h_2 = -484500 J/mol$

Solución a: Se procede a realizar un balance de masa considerando únicamente las corrientes de Piridina y ácido acético del mezclador:

BALANCE DE MASA TOTAL:

$$\dot{n}_M = \dot{n}_1 + \dot{n}_2 = 1 \frac{Kmol}{min} + 1 \frac{Kmol}{min} = 2 \frac{Kmol}{min}$$

BALANCE DE MASA DE PIRIDINA:

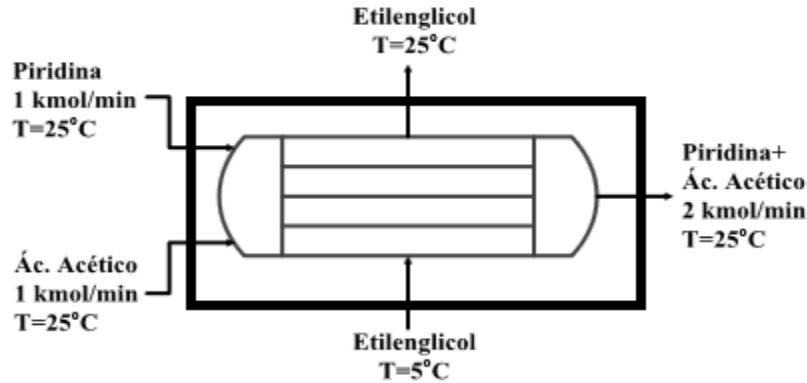
$$x_{1,M} \dot{n}_M = x_{1,1} \dot{n}_1 + x_{1,2} \dot{n}_2$$

Como $x_{1,1} = 1$ y $x_{1,2} = 0$ la ecuación se simplifica a:

$$x_{1,M} \dot{n}_M = \dot{n}_1 \rightarrow x_{1,M} = \frac{\dot{n}_1}{\dot{n}_M} = \frac{1 \frac{Kmol}{min}}{2 \frac{Kmol}{min}} = 0,5$$

Continuamente se procede a realizar un balance de energía a todo el sistema.

BALANCE DE ENERGIA AL MEZCLADOR:



$$\left(\frac{dE}{dt}\right)_{sis} = \sum \dot{n}_e \left(h_e + \frac{1}{2} v_e^2 + g z_e \right) - \sum \dot{n}_s \left(h_s + \frac{1}{2} v_s^2 + g z_s \right) + \dot{Q} - \dot{W}$$

El sistema es adiabático y no se realiza ningún trabajo en el sistema, por lo cual $\dot{Q} = 0$ y $\dot{W} = 0$. Considerando estado estacionario y despreciando las contribuciones de energía cinética y potencial tenemos:

$$\sum \dot{n}_e (h_e) = \sum \dot{n}_s (h_s)$$

$$\dot{n}_1 h_1 + \dot{n}_2 h_2 + \dot{m}_{ref} \overline{h_{r1}} = \dot{n}_M h_M + \dot{m}_{ref} \overline{h_{r2}}$$

$$\dot{n}_1 h_1 + \dot{n}_2 h_2 - \dot{n}_M h_M = \dot{m}_{ref} (\overline{h_{r2}} - \overline{h_{r1}})$$

$$\dot{n}_1 h_1 + \dot{n}_2 h_2 - \dot{n}_M h_M = \dot{m}_{ref} c_p (T_{r2} - T_{r1})$$

Es importante resaltar que $\overline{h_{r2}}$ y $\overline{h_{r1}}$ son entalpias por Kg de refrigerante, es decir sus unidades son KJ/Kg.

Procedemos a definir las entalpias de solución de cada una de las corrientes:

Corriente 1: $x_{1,1} = 1$ y $x_{1,2} = 0$ de esta forma:

$$h_1 = h^E_1 + h^{id}_1 = \Delta h^m_1 + \sum_{i=1}^n x_i h_i^{id}$$

Es importante destacar que $\Delta h^m_1 = h^E_1$ puesto que ambas se definen como la desviación entre la entalpia la solución real y la contribución de la entalpia de la solución ideal que es equivalente a la sumatoria ponderada de las entalpias de los componentes puros.

Considerando el polinomio de Redlich-Kister y desarrollando la sumatoria tenemos:

$$h_1 = x_{1,1} x_{2,1} \left(A + B(x_{1,1} - x_{2,1}) + C(x_{1,1} - x_{2,1})^2 + D(x_{1,1} - x_{2,1})^3 \right) + x_{1,1} h_1^{id} + x_{2,1} h_2^{id}$$

Sustituyendo los valores de $x_{1,1} = 1$ y $x_{1,2} = 0$ tenemos:

$$h_1 = h_1^{id} = 161000 \text{ J/mol}$$

Corriente 2: $x_{1,2} = 0$ y $x_{2,2} = 0$ de esta forma se tiene que:

$$h_2 = x_{1,2}x_{2,2} \left(A + B(x_{1,2} - x_{2,2}) + C(x_{1,2} - x_{2,2})^2 + D(x_{1,2} - x_{2,2})^3 \right) + x_{1,2}h_1^{id} + x_{2,2}h_2^{id}$$

$$h_2 = h_2^{id} = -484500 \text{ J/mol}$$

Corriente M: $x_{1,M} = 0,5$ y $x_{2,M} = 0,5$ por tanto:

$$h_M = x_{1,M}x_{2,M} \left(A + B(x_{1,M} - x_{2,M}) + C(x_{1,M} - x_{2,M})^2 + D(x_{1,M} - x_{2,M})^3 \right) + x_{1,M}h_1^{id} + x_{2,M}h_2^{id}$$

$$h_M = \frac{1}{4}(A) + \frac{1}{2}(h_1^{id} + h_2^{id}) = -166479.26 \text{ J/mol}$$

Sustituyendo en el balance de energía tenemos:

$$\frac{1 \text{ Kmol}}{\text{min}} \left(161000 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol}} \right) + \frac{1 \text{ Kmol}}{\text{min}} \left(-484500 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol}} \right) - \frac{2 \text{ Kmol}}{\text{min}} \left(-166479.26 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol}} \right) = \dot{m}_{ref} c_p (T_{r2} - T_{r1})$$

$$\dot{m}_{ref} = \frac{\frac{1 \text{ Kmol}}{\text{min}} \left(161000 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol}} \right) + \frac{1 \text{ Kmol}}{\text{min}} \left(-484500 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol}} \right) - \frac{2 \text{ Kmol}}{\text{min}} \left(-166479.26 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol}} \right)}{2,8 \frac{\text{KJ}}{\text{kg K}} (25 - 5) \text{K}}$$

$$\dot{m}_{ref} = 168,90 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}$$

Solución b: Para determinar las propiedades parciales molares se tiene en cuenta que para soluciones binarias:

$$\hat{h}_1 = h_1 + x_2 \frac{dh}{dx_1}$$

$$\hat{h}_2 = h_2 - x_1 \frac{dh}{dx_1}$$

En donde se tiene que cumplir que:

$$\frac{dh}{dx_1} = \frac{d}{dx_1} [x_1x_2 (A + B(x_1 - x_2) + C(x_1 - x_2)^2 + D(x_1 - x_2)^3) + x_1h_1 + x_2h_2]$$

Se considera que $x_2 = 1 - x_1$ se tiene que:

$$\frac{d}{dx_1} [(x_1 - x_1^2) (A + B(2x_1 - 1) + C(2x_1 - 1)^2 + D(2x_1 - 1)^3) + x_1h_1 + (1 - x_1)h_2]$$

De esta forma se obtiene:

$$\frac{dh}{dx_1} = (1 - 2x_1)(A + B(2x_1 - 1) + C(2x_1 - 1)^2 + D(2x_1 - 1)^3) + (x_1 - x_1^2)(0 + B(2) + 4C(2x_1 - 1) + 6D(2x_1 - 1)) + h_1 - h_2$$

Para la corriente de mezcla se tiene que $x_{1,M} = 0,5$ y $x_{2,M} = 0,5$ así se tiene que:

$$\frac{dh}{dx_1} = \frac{1}{4} (2B) + h_1 - h_2 = \frac{1}{2} B + h_1 - h_2$$

De esta forma las propiedades parciales molares en la corriente de mezcla quedan definidas como:

$$\hat{h}_{1,M} = h_{1,M} + x_{2,M} \frac{dh}{dx_1} = \frac{1}{4} (A) + \frac{1}{2} (h_1^{id} + h_2^{id}) + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} B + h_1^{id} - h_2^{id} \right)$$

$$\hat{h}_{1,M} = \frac{1}{4} (A) + \frac{1}{2} h_1^{id} + \frac{1}{2} h_2^{id} + \frac{1}{4} B + \frac{1}{2} h_1^{id} - \frac{1}{2} h_2^{id}$$

$$\hat{h}_{1,M} = \frac{A + B}{4} + h_1^{id} = 161000 + \frac{6682.53 - 18917.03}{4} = 157941.38 \text{ J/mol}$$

De forma análoga se obtiene que:

$$\hat{h}_{2,M} = h_{2,M} - x_{1,M} \frac{dh}{dx_1}$$

Por ser la solución equimolar se cumple la equivalencia $h_{2,M} = h_{1,M}$

$$\hat{h}_{2,M} = \frac{1}{4} (A) + \frac{1}{2} (h_1^{id} + h_2^{id}) - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} B + h_1^{id} - h_2^{id} \right)$$

$$\hat{h}_{2,M} = \frac{1}{4} (A) + \frac{1}{2} h_1^{id} + \frac{1}{2} h_2^{id} - \frac{1}{4} B - \frac{1}{2} h_1^{id} + \frac{1}{2} h_2^{id}$$

$$\hat{h}_{2,M} = \frac{A - B}{4} + h_2^{id} = -490900 \text{ J/mol}$$

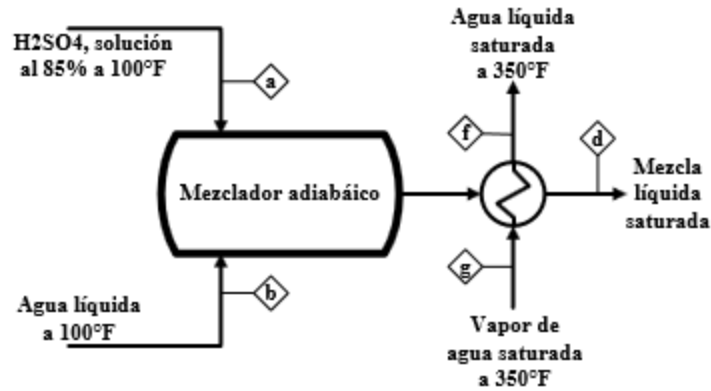
Observación: $\hat{h}_{2,M}$ también se podía calcular a partir de la ecuación de Gibbs Duhén:

$$h_M = \sum x_i \hat{h}_i = x_{1,M} \hat{h}_{1,M} + x_{2,M} \hat{h}_{2,M}$$

$$\hat{h}_{2,M} = \frac{h_M - x_{1,M} \hat{h}_{1,M}}{x_{2,M}} = 2 \left[\frac{1}{4} (A) + \frac{1}{2} h_1^{id} - \frac{1}{4} B - \frac{1}{2} h_1^{id} + \frac{1}{2} h_2^{id} \right]$$

$$\hat{h}_{2,M} = \frac{A - B}{4} + h_2^{id} = -490900 \text{ J/mol}$$

PROBLEMA 4: Una corriente de 10 lbm/s de H_2SO_4 al 85% en peso y 110 °F se desea llevar la temperatura de líquido saturado, para la cual se intercambia calor con una corriente de vapor de agua (saturada) a 350°F que se condensa completamente. Cuál es la mínima cantidad de agua de calentamiento requerida por unidad de mezclado $\left[\frac{\text{masa de corriente de g}}{\text{masa de corriente de b}} \right]$



Solución: Se realiza un Balance de masa al mezclador y al intercambiador como conjunto, considerando las corrientes de mezclado únicamente:

BALANCE DE MASA TOTAL

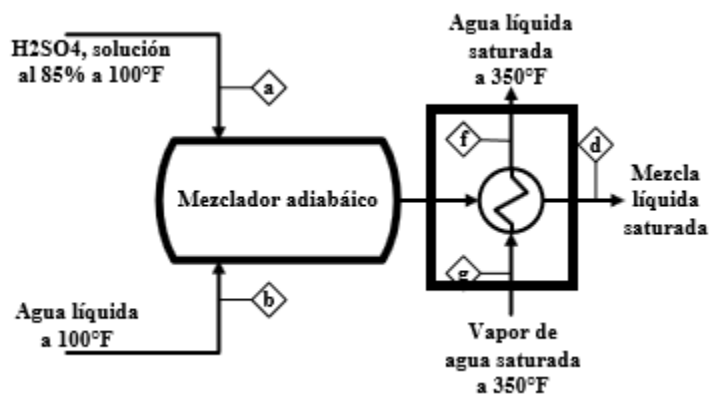
$$\dot{m}_a + \dot{m}_b = \dot{m}_d = \frac{20 \text{ lbm}}{\text{s}}$$

BALANCE DE MASA DE ACIDO SULFURICO

$$w_{1,a}\dot{m}_a + w_{1,b}\dot{m}_b = w_{1,d}\dot{m}_d$$

$$w_{1,d} = \frac{w_{1,a}\dot{m}_a + w_{1,b}\dot{m}_b}{\dot{m}_d} = \frac{(0.85)(10 \frac{\text{lbm}}{\text{s}})}{20 \frac{\text{lbm}}{\text{s}}} = 0.4250$$

Se realiza un balance de energía en el condensador:



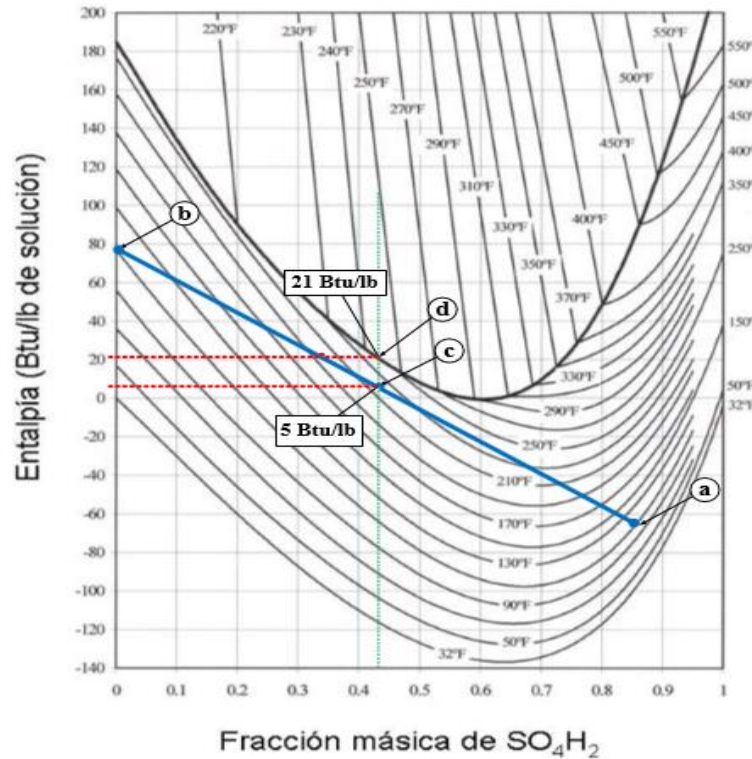
$$\left(\frac{dE}{dt}\right)_{\text{sis}} = \sum \dot{n}_e \left(h_e + \frac{1}{2} v_e^2 + g z_e \right) - \sum \dot{n}_s \left(h_s + \frac{1}{2} v_s^2 + g z_s \right) + \dot{Q} - \dot{W}$$

$$\sum \dot{n}_e (h_e) = \sum \dot{n}_s (h_s)$$

$$\dot{m}_c h_c + \dot{m}_g h_g = \dot{m}_f h_f + \dot{m}_d h_d$$

$$\frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_g} = \frac{h_d - h_c}{h_g - h_f}$$

Buscamos los valores de las entalpias en el diagrama que se muestra en la figura:



Corriente a	Corriente b	Corriente c	Corriente d
$w_{a,1} = 0.85$	$w_{b,1} = 0$	$w_{c,1} = 0.4250$	$w_{d,1} = 0.4250$
$T = 100^\circ\text{F}$	$T = 110^\circ\text{F}$	$T = 225^\circ\text{F}$	$T = 245^\circ\text{F}$
$h_a = -65 \text{ BTU/lbsol}$	$h_b = 80 \text{ BTU/lbsol}$	$h_c = 4 \text{ BTU/lbsol}$	$h_d = 22 \text{ BTU/lbsol}$

$$\frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_c} = \frac{(22 - 4) \text{ BTU/lbm(sol)}}{870.54 \text{ BTU/lbm(vapor)}} = 0.02068 \frac{\text{lbm(vapor)}}{\text{lbm(sol)}}$$

Observación: $h_g - h_f$ es equivalente al calor latente del agua a 350°F $h_{fg} = 870.54 \text{ BTU/lbm(vapor)}$

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = \dot{m}_c(h_d - h_c) = \frac{20 \text{ lbm}}{s} (22 - 4) \frac{\text{BTU}}{\text{lbm}} = 360 \frac{\text{BTU}}{s}$$

$$360 \frac{\text{BTU}}{s} = \dot{m}_{\text{agua}} h_{fg} \rightarrow \dot{m}_g = \frac{360 \frac{\text{BTU}}{s}}{870.54 \text{ BTU/lbm(vapor)}} = 0.4135 \frac{\text{lbm(vapor)}}{s}$$

De esta forma se obtiene que:

$$\frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_b} = \frac{0.4135 \frac{\text{lbm(vapor)}}{s}}{10 \text{ lbm/s}} = 0.04135$$