Parcial 2-2016

Problema 1.-

Problema 3.26. *Se tiene un sistema contenido en un dispositivo como el mostrado en la figura (3.35), un cilindro pistón y un globo, conectados por un tubo provisto de una válvula inicialmente cerrada. El contenido de ambos subsistemas, A y B, es amoniaco puro. Inicialmente el pistón es de movimiento libre, y se sabe que la fuerza externa aplicada a través del pistón es proporcional a la raíz cuadrada del volumen.*

Las condiciones iniciales, ***estado 1****, en el pistón (A) son 600[kPa] y* 40^oC *para un contenido de 3 [kg], mientras que en el globo (B) ocupa un volumen de* $V_{B1} = 2[m3]$ *a una presión* $P_{B1} = 100[kPa]$ *y una temperatura de* 140^oC*. Se conoce que le área del pistón es de* $A_p = 0,5[m2]$ *y que la presión en el globo para volúmenes mayores al inicial sigue la ley*

$$P_B = P_{B1} + C \times (V_B - V_{B1})$$

donde la constante $C = 125[kPa/m^3]$*. Una vez alcanzado el equilibrio descripto se fija al pistón a su lugar de equilibrio mediante pasadores. A continuación se suministra calor al cilindro hasta que la temperatura en su interior alcanza el valor* $T = 140^oC$ *(****estado 2****). A continuación se abre la válvula que conecta el cilindro con el globo y luego se libera el pistón suministrando al mismo tiempo el calor necesario a ambos subsistemas de modo que las temperaturas se igualen en* 140^oC*. La válvula se mantendrá abierta hasta que la presión en el globo alcance el valor* $P_{B3} = 200[kPa]$ *(****estado 3****), momento en el cual se da por finalizado el proceso. Calcule:*

1. *La presión de A en el* ***estado 2****.*
2. *El calor transferido al pistón en el proceso desde el* ***esdado 1*** *al* ***estado 2****.*
3. *Trabajo neto realizado por el sistema A+B al ir del* ***estado 1*** *al* ***estado 3****.*
4. *Calor neto transferido al ir del* ***estado 1*** *al* ***estado 3***

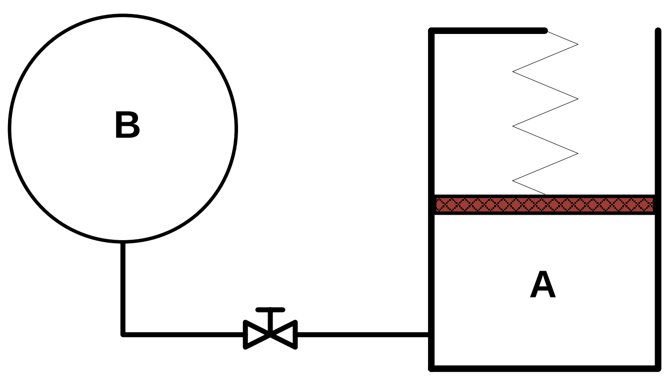

Figura 3.35: Equipo correspondiente al problema (3.8).

Solución:

Antes de comenzar conviene revisar los datos críticos del amoniaco, compuesto que conforma el sistema y sus dos sub-sistemas. De tablas encontramos que la temperatura crítica es $T_c = 405,6K =$ y la presión crítica es $P_c = 112,77[bar]$. Verificando las temperaturas mencionadas en el problema para los tres estados B1, A2, A3 y B3, reflejadas en la tabla (3.20) con letras negra sobre fondo blanco, se observa que todas son super-críticas y la información necesaria debe buscarse en tablas de vapor sobre-calentado (VSC). Solo es sub-crítico el estado A1 pero, recurriendo a tablas de vapor saturado, se lee que para una temperatura de 40^oC la presión de saturación es de 1554,9 [kPa], netamente superior a la imperante, por lo que se deduce que su estado es de VSC. En consecuencia de partida sabemos que el amoniaco permanece todo el tiempo como gaseoso.

1. **Estado 1:**

Tabla 3.20: Tabla de valores para las propiedades en cada estado. En letras negras se presentan los valores especificados por el enunciado, resaltados sobre fondo amarillo los datos que debieron ser calculados, y en letras azules los hallados recurriendo a tablas de propiedades termodinámicas de amoniaco (Ver Apéndice)

Estado	$P[kPa]$	T[^oC]	$v[m^3/kg]$	$u[kJ/kg]$	$h[kJ/kg]$	m[kg]	V[m^3]
A1	600,00	40	0,24118	1387,792	1532,500	3,0000	0,72354
B1	100,00	140	2,01091	1581,709	1782,800	0,9946	2,00000
A2	816,84	140	0,24118	1569,491	1766,4969	3,0000	0,72354
A3	491,94	140	0,40535	1574,511	1773,171	1,2012	0,48690
B3	200,00	140	1,00237	1580,126	1780,600	2,7934	2,80000

Tanque A:
De las tablas de amoniaco sobre-calentado se obtiene que a 600[kPa] y 40^oC

$$v_{A1} = 0,24118 \left[\frac{m^3}{kg}\right]$$
$$u_{A1} = 1387,792 \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$
$$h_{A1} = 1532,500 \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

Conociendo la masa presente y el volumen específico se tiene que

$$V_{A1} = m \times v = 3 \times 0,24118 = 0,72354 \left[m^3\right]$$

Ahora podemos calcular la fuerza ejercida por el pistón

$$F_{A1}^{ext} = k\sqrt{V_{A1}} = P_{A1}A_p = 600 \times 0,5 = 300\,[kN]$$

y despejando se obtiene el valor de la constante de proporcionalidad

$$k = \frac{F_{A1}^{ext}}{\sqrt{V_{A1}}} = \frac{300}{\sqrt{0,72354}} = 352,6874304 \left[\frac{kN}{m^{3/2}}\right]$$

valor que se necesitará más adelante.
Tanque B:
Sabemos los valores de presión, temperatura y volúmen. De tablas se obtiene que

$$v_{B1} = 2,01091 \left[\frac{m^3}{kg}\right]$$
$$u_{B1} = 1581,709 \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$
$$h_{B1} = 1782,800 \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

y a partir del dato de volumen total dado en el enunciado $V = 2[m^3]$ y el volumen específico obtenido de tablas se determina que la masa de metano en el globo es de

$$m_{B1} = \frac{V_{B1}}{v_{B1}} = \frac{2}{2,01091} = 0,9946\,[kg]$$

2. **Estado 2:**
Tanque A:
En el enunciado se describe que una vez que el tanque A alcanza el equilibrio en el estado 1, el pistón del cilindro se fija con pernos de modo que no pueda moverse, y luego se calienta hasta que

Tabla 3.21: Interpolación para el estado A_2 dentro del tanque A usando tablas de propiedades termodinámicas de moniaco. Sontag,Brgnakke,Van Wilen, 6ta. Ed.,2003)

$P_{A2}[kPa]$	$v_{A2}[m^3/kg]$	$u_{A2}[kJ/kg]$	$h_{A2}[kJ/kg]$
800	0,2459		1766,9
816,839101	0,24118	1569,491	1766,495862
900	0,21787		1764,5

alcanza la temperatura de $T = 140^oC$. Conocemos entonces la temperatura y el volumen específico de este estado: $v_{A2} = v_{A1} = 0,24118 \left[m^3/kg\right]$ que se resalta sobre fondo amarillo, y por lo tanto de tablas podemos hallar las propiedaes restantes. Necesitaremos interpolar ya que el valor de volumen específico señalado se encuentra comprendido entre el valores a 800 y 900 [kPa] no coincide con ninguno de tablas. Los datos se presentan en la tabla (3.21), Los datos de tabla se presentan en negro sobre fondo blanco, el volúmen específico conocido sobre fondo amarillo, y los dos valores interpolados sobre fondo verde. Se utilizó interpolación linear.

3. **Estado 3:**
Tanque B:
Aquí es necesario comenzar con el tanque B, porqué este resultado será necesario para poder determinar la masa remanente en el tanque A y de alli los datos restantes. Con los datos de presión y temperatura dados para este estado, de tablas se tiene que

$$v_{B3} = 1,00237 \left[\frac{m^3}{kg}\right]$$
$$u_{B3} = 1580,126 \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$
$$h_{B3} = 1780,600 \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

Usando ahora la relación presión volumen dada en el enunciado para el globo se obtiene qaue

$$V_{B3} = \frac{P_{B3} - P_{B1}}{C} + V_{B1} = \frac{200 - 100}{125} + 2 = 2,8 \left[m^3\right]$$

y usando este valor y el del volumen específico se obtiene que la masa será de

$$m_{B3} = \frac{V_{B3}}{v_{B3}} = \frac{2,8}{1,00237} = 2,7934 \, [kg]$$

Como vemos la masa ha cambiado y provino del tanque A.
Tanque A:
La masa de amoniaco remanente en este tanque será

$$m_{A3} = m_{A1} + m_{B1} - m_{B3} = 3 + 0,9946 - 2,7934 = 1,2012 \, [kg]$$

Por enunciado sabemos que la temperatura es de 140^oC, y podemos escribir que

$$V_{A3} = m_{A3} \times v_{A3}$$
$$P_{A3} = \frac{F_{A3}}{A_p} = \frac{352,6874304\sqrt{V_{A3}}}{A_p} = \frac{352,6874304}{0,5}\sqrt{1,2012 \times v_{A3}} = 773,0840594\sqrt{v_{A3}}$$

Esta segunda ecuación puede ahora reescribirse como función objetivo

$$Fob = P - 773,0840594\sqrt{v_{A3}} \Rightarrow 0$$

y de aquí por interpolación linear se obtiene los datos de la tabla (3.22)

Tabla 3.22: Interpolación para determinación de presión que haga cero la función objetivo definida para el estado 3 del tanque A.

$P_{A3}[kPa]$	$v_{A3}[m^3/kg]$	Fob	$u_{A3}[kJ/kg]$	$h_{A3}[kJ/kg]$
400	0,49808	-145,602398	1566,768	1766,000
491,9421	0,4053472	0	1574,511	1773,171
500	0,39722	12,7607434	1575,19	1773,8

Con la tabla completa con los datos necesarios ahora estamos en condiciones de dar respuesta a lo solicitado por el enunciado:

1. **Presión de A en el estado 2.**
   Vimos que era $P_{A2} = 816,84[kPa]$
2. **Calor transferido al pistón en el proceso desde el esdado 1 al estado 2.**
   Aplicando balance de primera ley considerando que el tanque A es un sistema cerrado, con el pistón inmovilizado y por lo tanto que no puede ejecutar trabajo de eje, se tiene que

$$Q_{1\to 2} = m_{A1}\left(u_{A2} - u_{A1}\right) = 3\left(1569,491 - 1387,792\right) = 545,0958216\,[kJ]$$

   El resultado es positivo lo cual está de acuerdo con la regla de signos adoptada.
3. **Trabajo neto realizado por el sistema A+B al ir del estado 1 al estado 3.**
   Subsistema B:
   Siendo una expansión isotérmica se tiene que

$$(W_B)_{1\to 3} = \int_1^3 P_B dV = \int_1^3 (P_{B1} + C\left(V_B - V_{B1}\right))dV = \left(P_{B1} - CV_{B1}\right)\left(V_{B3} - V_{B1}\right) + \frac{C}{2}\left(V_{B3}^2 - V_{B1}^2\right)$$
$$= (100 - 125 \times 2)\left(2,8 - 2\right) + \frac{125}{2}\left(2,8^2 - 2^2\right) = 120\,[kJ]$$

   donde la fórmula utilizada presume que se consideró expansión reversible. El trabajo es positivo como corresponde a la regla de signos adoptada.
   Subsistema A:

$$(W_A)_{2\to 3} = \int_2^3 PdV = \int_2^3 \frac{k}{A_p}\sqrt{V}dV = 470,2499072\left(V_{A3}^{3/2} - V_{A2}^{3/2}\right) = -129,648035\,[kJ]$$

   El signo resulta negativo porque el subsistema sufre una reducción de volumen, lo que significa que el medio ejerce trabajo sobre este subsistema. El trabajo total del sistema integrado será

$$W_{1\to 3} = -129,648035 + 120 = -9,648034988\,[kJ]$$

4. **Calor neto transferido al ir del estado 1 al estado 3**
   Aplicando balance de primera ley sobre el sistema integrado se tiene que

$$\Delta U_{1\to 3} = Q_{1\to 3} - W_{1\to 3} = Q_{1\to 3} + 9,648034988 = m_{A3}u_{A3} + m_{B3}u_{B3} - m_{A1}u_{A1} - m_{B1}u_{B1}$$
$$= 568,6833159\,[kJ]$$

   Despejando resulta

$$Q_{1\to 3} = \Delta U_{1\to 3} + W_{1\to 3} = 568,6833159 - 9,648034988 = 559,0352809\,[kJ]$$

Problema 3.27. *Considere un ciclo para una planta de energía que funciona con amoniaco, como la que se muestra en la figura (3.36). Los datos conocidos para cada nodo se encuentran resaltados sobre fondo amarillo en la tabla (3.23). Salvo la caldera y el condensador, los demás equipos y lineas de conexión pueden considerarse adiabáticos. Las pérdidas de presión a través del condensador, caldera, el intercambiador abierto y el cerrado pueden despreciarse.*

Además de los datos de la tabla se tiene la siguiente información:

$$W_{B1} = -0,2809335 \left[\frac{kJ}{kg}\right]; W_{B2} = -3,04514678 \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$
$$\dot{W}_{Total} = 5000\,[kW]\,; T_9 = T_{10}$$

Se desea:

1. *Completar la tabla de datos.*
2. *Calcular el trabajo de cada turbina por kilogramo de amoniaco que circula a través de ellas.*
3. *Determinar los flujos másicos por nodo sobre la base de 1 kilogramo de amoniaco que circula.*
4. *Determinar el trabajo total obtenible de las turbinas por kilogramo de amoniaco que circula por la planta.*
5. *Calcular el flujo másico total por segundo necesario para obtener la potencia combinada de las turbinas que se dio como dato.*
6. *Determinar la potencia calórica de la caldera y del condensador.*

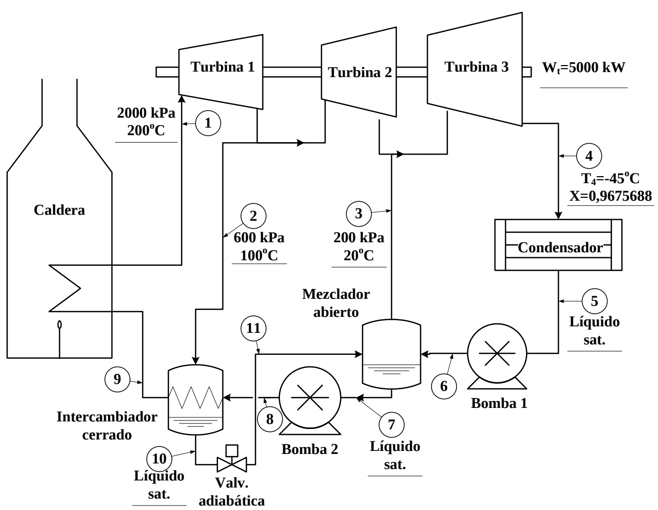

Figura 3.36: Diagrama de la planta correspondiente al problema (3.27).

Solución:

1. **Completar la tabla de datos.**
   Los nodos identificados sobre el diagrama caracterizan el estado termodinámico del fluido de trabajo. La información conocida se resalta en la tabla (3.23), donde se observa que para los nodos 1, 2, 3, 4, 5, 7 y 10 se conocen los valores de dos variables independientes, lo que hace posible evaluar el resto de propiedades de interés. Para el resto de los nodos habrá que recurrir a información adicional que permita definir el estado. Los resultados se observan en la tabla excel que aparece en la figura (3.39). Como modelo se utilizaran las tablas para el amoniaco que aparecen en los apéndices.
   Nodo 1:
   En este estado el amoniaco es un gas supercrítico por lo que podemos decir que el estado es de VSC. La calidad no está definida y el contenido entálpico por kilogramo de masa se obtiene por lectura directa en tablas:

Tabla 3.23: Interpolación para determinación de presión que haga cero la función objetivo definida para el estado 3 del tanque A.

Nodo	P[MPa]	T^oC	h[kJ/kg]	x	Fase	m[kg]
1	2,00	200,000				
2	0,60	100,00				
3	0,20	20,00				
4		-45,000		0,9675688		
5		-45,000		0,0000000		
6	0,20					
7	0,20			0,0000000		
8	2,00					
9	2,00					
10	0,60			0,0000000		
11	0,20					

$$h_1 = 1893,9 \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

Nodo 2:
De la tabla para vapor saturado se observa que para 100^oC la presión de saturación es de $6253,7[kPa]$, muy superior a la imperante en el nodo, por lo que el estado será de VSC y la calidad no estará definida. Una lectura en tablas para la isobara de 600 [kPa] establece que

$$h_2 = 1676,8 \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

Nodo 3:
La presión de saturación a 20^oC es $P_s = 857,5[kPa]$, superior a la del nodo, por lo que el estado será de VSC y la calidad no estará definida. De tablas se lee

$$h_3 = 1509,4 \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

Nodo 4:
Dado que se informa la calidad estamos en presencia de una mezcla líquido-vapor en equilibrio (MLV). Recurriendo a la tabla para vapor saturado se puede calcular el contenido entálpico específico promedio mediante la fórmula

$$h_4 = \mathrm{x}_4\mathrm{v}_{vs}+(1-\mathrm{x}_4)\mathrm{v}_{Ls}=0,9675688\times 1380,8+(1-0,9675688)\times(-21,94) = 1335,30746 \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

De tabla se lee que la correspondiente presión de equilibrio es $P_s = 54,5[kPa]$.
Nodo 5:
Se especifica que se trata de líquido saturado (LS), y a falta de mayor información supondremos que la presión es idéntica a la del nodo 4, lo que equivale a suponer que la caída de presión al pasar por el condensador es despreciable. El contenido entálpico será el de líquido saturado

$$h_5 = h_{Ls} = -21,94 \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

Nodo 6:
El estado de este nodo no está definido ya que solo se especifica la presión. Sin embargo este nodo y el anterior se interpone una bomba cuya potencia aplicada al fluido se especifica en el enunciado. Aplicando ahora un balance de primer principio se tiene

$$h_5 = W_{B1} + h_6$$

de donde despejando se obtiene que

$$h_6 = h_5 - W_{B1} = -21,94 + 0,2809335 = -21,6590665 \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

Ahora tenemos el estado definido, pero la información faltante no es necesaria para resolver el problema; por lo tanto no se gastará esfuerzo para hallarla.
Nodo 7:
Aquí nuevamente tenemos líquido saturado, por lo que se trata de un caso parecido al del nodo 5. La diferencia está en que la tabla de vapor saturado tiene entrada por temperatura. Se observa que la presión de vapor establecida está comprendida entre el valor que se lee para -20^oC y -15^oC, por lo que se hará necesario realizar una interpolación como la que se muestra en la tabla que aparece en la figura 3.37).

T°C	P[kPa]	**h_{Ls}(kJ/kg)**
-20,00	190,20	89,0500
-18,94	200,00	93,8565
-15,00	236,30	111,6600

Figura 3.37: Tabla de interpolación para el Nodo 7, cuyo estado es de LS. Sobre fondo amarillo el valor de la variable conocida y sobre fondo azul claro los valores obtendidos por interpolación. Problema(3.27).

Nodo 8:
Para este nodo tenemos una situación idéntica a la encontrada para el nodo 6. Procediendo de la misma forma se tiene

$$h_7 = W_{B2} + h_8$$

de donde despejando se obtiene que

$$h_8 = h_7 - W_{B1} = 93,8564642 + 3,04514678 = 96,901611 \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

Ahora tenemos la variable adicional que define el estado y que permitiría evaluar las restantes propiedades. Como estos datos no son necesarios para resolver el problema no se dedica tiempo para su evaluación.
Nodo 10:
Para evaluar las propiedades en el nodo 9 necesitamos primero resolver el problema de este nodo. Tenemos la presión y el conocimiento deque se trata de líquido saturado (LS). Se procede en forma idéntica a lo hecho para el Nodo 7. Los cálculos se reflejan en la tabla que aparece en la figura 3.38)
Nodo 9:

T°C	P[kPa]	h_{Ls}(kJ/kg)	v_{Ls}[m3/kg]
5,00	515,90	203,5800	0,001583
9,23	600,00	223,3897	0,001597
10,00	615,20	226,9700	0,001600

Figura 3.38: Tabla de interpolación para el Nodo 10, cuyo estado es de LS. Sobre fondo amarillo el valor de la variable conocida y sobre fondo azul claro los valores obtenidos por interpolación. Problema(3.27).

La temperatura de este nodo es la misma que la del Nodo 10. Estaremos en presencia de líquido comprimido ya que la presión de saturación para la temperatura del nodo es mucho menor que la presión aplicada. El contenido entálpico se calculará mediante la fórmula

$$\mathrm{h}_9 = h_{Ls}(T_9) + v_{Ls}\,(T_9)\,(P - P_s\,(T_9)) = 223,389658 + 0,0015974(2000 - 600) = 225,626015 \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

Nodo 11:

Entre este nodo y el Nodo 10 tenemos una válvula reductora de presión que a falta de mayor información supondremos adiabática. Un balance de energía alrededor de ella nos dirá que se trata de un proceso isoentálpico, por lo que el contenido entálpico en este nodo será igual al del nodo previo.Ahora se podrían evaluar las propiedades restantes pero nuevamente no se hace por las mismas razones esgrimidas para nodos anteriores.

Nodo	P(kPa)	T[°C]	h(kJ/kg)	x	Fase	m(kg/s)
1	2000	200	1893,9	NC	VSC	1
2	600	100	1676,8	NC	VSC	0,088567144
3	200	20	1509,4	NC	VSC	0,061272793
4	54,5	-45	1335,30746	0,9675688	MLV	0,850160063
5	54,5	-45	-21,94	0	LS	0,850160063
6	200	No necesario	-21,6590665	NC	LC	0,850160063
7	200	-18,93709328	93,85646421	0	LS	1
8	2000	No necesario	96,90161099	NC	LC	1
9	2000	9,234642497	225,6260145	NC	LC	1
10	600	9,234642497	223,3896576	0	LS	0,088567144
11	200	No necesario	223,3896576	No necesario	MLV	0,088567144

Figura 3.39: Tabla de resultados: resaltados en amarillos los datos conocidos, resaltados en azul claro los calculados y los resaltados en rojo claro los que son derivados de otro nodo. Problema(3.27).

2. **Calcular el trabajo de cada turbina por kilogramo de amoniaco que circula a través de ellas.**
   Haciendo un balance de primer principio alrededor de cada turbina, suponiéndolas adiabáticas se obtiene

$$w_{t1} = (h_1 - h_2) = 1893,9 - 1676,8 = 217,1 \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$
$$w_{t2} = (h_2 - h_3) = 1676,8 - 1509,4 = 167,4 \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$
$$w_{t3} = (h_3 - h_4) = 1509,4 - 1335,30746 = 174,09254 \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

3. **Determinar los flujos másicos por nodo sobre la base de 1 kilogramo de amoniaco que circula.**
   Observando el diagrama se observa que la masa que circula por los nodos 1, 7, 8, y 9 es el kilogramo sugerido como base, lo cual se refleja en la tabla (3.39). Para poder establecer los restantes lo primero

que debe hacerse es calcular la masa que se desvía hacia el nodo 2. Para ello hay que hacer primero un balance de primer principio alrededor del intercambiador cerrado, que por falta de información se lo considera adiambático, se tiene

$$m_2h_2 + m_8h_8 = m_{10}h_{10} + m_9h_9$$

que teniendo en cuenta las masas que circulan conocidas se simplifica a

$$m_2h_2 + h_8 = m_2h_{10} + h_9$$

De donde despejando se obtiene la masa que se desvía por el nodo 2

$$m_2 = \frac{h_9 - h_8}{h_2 - h_{10}} = \frac{225,626015 - 96,901611}{1676,8 - 223,389658} = 0,088567144\,[kg]$$

Además observando el diagrama concluimos que

$$m_2 = m_{10} = m_{11}$$

Ahora, haciendo un balance de primer principio alrededor del mezclador abierto, considerándolo adiabático, se tiene

$$m_3h_3 + m_6h_6 + m_{11}h_{11} = m_7h_7$$

donde sustituyendo por las masas conocidas se obtiene

$$m_3h_3 + (1 - m_3 - m_2)\,h_6 + m_2h_{11} = h_7$$

Ahora, despejando y sustituyendo se tiene

$$\begin{aligned} m_3 &= \frac{h_7 - m_2h_{11} - (1 - m_2)h_6}{h_3 - h_6} \\ &= \frac{93,8564642 - 0,08856714 \times 223,389658 - (1{-}0,08856714) \times (-21,6590665)}{1509,4 - (\,-\,21,6590665)} \\ &= 0,061272793\,[kg] \end{aligned}$$

y finalmente

$$m_4 = m_5 = m_6 = 1 - m_2 - m_3 = 0,850160063\,[kg]$$

4. **Determinar el trabajo total obtenible de las turbinas por kilogramo de amoniaco que circula por la planta.**

$$\begin{aligned} w_{total} &= w_{t1} + (1 - m_2)w_{t2} + (1 - m_2 - m_3)w_{t3} + (1 - m_2 - m_3)w_{B!} + w_{B2} \\ w_{total} &= w_{t1} + (1 - 0,088567144)w_{t2} + (1 - 0,088567144{-}0,061272793)w_{t3} \end{aligned}$$

y sustituyendo los valores conocidos se tiene

$$\begin{aligned} w_{total} =& 217,1 + 0,911432856 \times 167,4 {+} 0,850160063 \times 174,09254 \\ &+ 0,850160063 \times (-0,2809335) - 3,04514672 = 514,3964 \left[\frac{kJ}{kg}\right] \end{aligned}$$

5. **Calcular el flujo másico total por segundo necesario para obtener la potencia combinada de las turbinas que se dio como dato.**
Sabemos que

$$\dot{W}\,[kW] = \dot{m}_{total}\left[\frac{kg}{s}\right] w_{total}\left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

y despejando se tiene el el flujo másico necesario para la potencia neta solicitada es de

$$\dot{m}_{total} = \frac{5000\,[kW]}{514,3964\left[\frac{kJ}{kg}\right]} = 9,72013024\left[\frac{kg}{s}\right]$$

6. **Determinar la potencia calórica de la caldera y del condensador.**

$$\dot{Q}_H = \dot{m}_{total}\,(h_1 - h_9) = 9,72013024 \times (1893,9 - 225,626015) = 16215,8404\left[\frac{kJ}{s}\right]$$

$$\begin{aligned}\dot{Q}_L &= \dot{m}_{total}\,(1 - m_2 - m_3)\,(h_5 - h_4)\\ &= 9,72013024 \times (1 - 0,088567144 - 0,061272793)\,(-21,94 - 1335,30746) = -11215,8404\left[\frac{kJ}{s}\right]\end{aligned}$$