

Examen Julio 2023

POR FAVOR TENER EN CUENTA:

1. Resolver las partes en hojas separadas
2. Escribir nombre y apellido en el margen superior derecho de cada hoja entregada
3. Poner cantidad total de hojas entregadas (M) y número de hoja (n) en cada hoja, en el margen superior izquierdo de la hoja, con el formato n/M

Formato obligatorio en todas las hojas que se entreguen:

Apellidos	Nombre	CI	Carrera	Hoja (n/M)

Pregunta 1 (35 pts)

Pregunta 1a

Una empresa estudia la posibilidad de instalar una planta de producción de carbón activado usando residuos forestales como materia prima. El carbón activado es un adsorbente carbonoso que se utiliza para la purificación de agua.

La materia prima compuesta por una mezcla de chips de madera (pequeños trozos de madera) y finos (aserrín) llega a la planta y pasa por un tamiz que separa los finos de los chips. Los chips entran al proceso de carbonización donde se transforman en gases volátiles y carbón. El carbón entra al proceso de activación donde se convierte en carbón activado y gases de síntesis. El proceso global de carbonización y activación tiene un rendimiento del 20% en masa (carbón activado/chips).

Los gases volátiles provenientes de la carbonización y los gases de síntesis de la activación se envían a un sistema de tratamiento de gases y luego son liberados a la atmósfera.

- a. Dibuje el diagrama de bloques del proceso de producción de carbón activado a partir de residuos forestales.
- b. Si la materia prima contiene 10% finos y 90% chips: ¿cuánta materia prima se necesita para producir 3000 ton/año de carbón activado? Expresar en ton/año.
- c. ¿Cuál es el flujo total de gases que se libera a la atmósfera? Expresar en ton/año.

Pregunta 1b

El proyecto de la planta de carbón activado requiere una inversión de 5.000.000 USD en activos fijos, que se amortiza lineal y completamente en 10 años. Los costos fijos corresponden a 1.000.000 USD/año y el precio de venta de carbón activado es de 2 USD/kg. El impuesto a las utilidades es 25% y la tasa de costo capital es 10%.

Los costos variables corresponden exclusivamente costo de adquisición de materia prima. La empresa recibió ofertas por dos tipos de materia prima diferentes (pues tienen diferente relación chips/finos):

- Oferta I: materia prima que tiene 10% finos (y 90% chips) – 200 USD/ton.
- Oferta II: materia prima que tiene 1% finos (y 99% chips) – 240 USD/ton.

Los finos (separados del chip) también pueden ser vendidos a otros emprendimientos a un precio de 25 USD/ton.

Considere que la planta proyecta producir y vender 3.000 ton/año de carbón activado.

¿Con cuál de las dos alternativas es más rentable el proyecto?

Pregunta 2 (35 pts)

En una caldera se queman 5,5 m³/h (medidos en condiciones de 1atm y 0°C) de una mezcla gaseosa de metano (CH₄) y propano (C₃H₈), de composición volumétrica 70% y 30% respectivamente para producir vapor a 150 °C y presión atmosférica. La mezcla de gases se alimenta al quemador a 25°C y 1 atm, y el aire a 90°C con un 20% de exceso respecto al estequiométrico. Se puede considerar que la combustión es completa y que no queda reactivo sin quemar. El 10% del total de calor obtenido en la combustión, se pierde al ambiente.

Se pide:

- Determine la composición molar de humos húmedos
- Determine la cantidad de vapor generado en el domo de la caldera si la temperatura de salida de humos es 300°C

Datos adicionales:

- Se puede despreciar la purga de la caldera.
- Composición molar del aire: 79% N₂ y 21% O₂
- Considere que en el estado gaseoso todas las sustancias involucradas presentan un comportamiento ideal.
- Constante R = 0,08206 L atm/mol K
- El agua tratada ingresa al domo de la caldera a 35°C

	H	C	N	O
PA (g/mol)	1,0	12,0	14,0	16,0

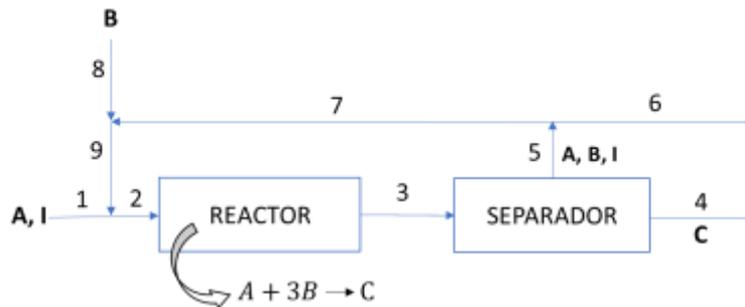
	ΔH_f° 25 °C y 1 atm (kJ/mol)	Cp (*) (kJ/kg°C)	T ebullición a 1 atm (°C)
H ₂ O (l)	-285,5	4,19	100
H ₂ O (g)	-241,6	2,08	100
CO ₂ (g)	-393,5	0,54	15
O ₂ (g)	0,0	0,81	-183
N ₂ (g)	0,0	1,03	-196
H ₂ (g)	0,0	14,52	-252
CH ₄ (g)	-74,8	1,32	-162
C ₃ H ₈ (g)	-103,9	1,68	-42

(*) en todo el rango de temperaturas y presiones en que pudieran encontrarse en el estado de agregación indicado.

	Calor latente de vaporización a 100 °C y 1 atm (J/mol)
H ₂ O (l)	40626

Pregunta 3 (15 pts)

Considere el sistema de la figura para responder la siguiente pregunta de múltiple opción. El sistema está en estado estacionario.



- Indique cuál/es de las siguientes relaciones entre flujos másicos son correctas.
 - $W_1 + W_8 = W_4 + W_6$
 - $W_1 + W_7 + W_8 = W_4 + W_5$
 - $W_1 + W_9 = W_3 + W_4 + W_5$
 - $W_2 = W_1 + W_7 + W_8 + W_9$
- Indique cuál/es de las siguientes relaciones son correctas respecto al flujo másico de compuesto I.
 - $W_{1,I} = W_{6,I}$
 - $W_{1,I} = W_{2,I}$
 - $W_{9,I} + W_{1,I} = W_{5,I}$
 - $W_{5,I} = W_{6,I} = W_{7,I}$
- Indique cuál/es de las siguientes relaciones son correctas respecto a la fracción molar de A.
 - $X_{1,A} = X_{2,A} = X_{9,A}$
 - $X_{7,A} = X_{9,A}$
 - $X_{5,A} = X_{6,A} = X_{7,A}$
 - $X_{3,A} = X_{5,A}$
 - Ninguna de las anteriores es correcta
- Indique cuál/es de las siguientes relaciones entre flujos molares son correctas.
 - $N_{1,A} = N_{6,A}$
 - $N_{1,I} = N_{5,I}$
 - $N_2 = N_3$
 - $N_8 + N_1 = N_4 + N_6$
 - Ninguna de las anteriores es correcta
- Indique cuál/es de las siguientes relaciones entre flujos másicos y molares son correctas.
 - $W_{1,A} = W_{5,A} - W_{7,A}$
 - $W_{9,A} = W_{5,A} - W_{6,A}$
 - $N_{9,A} + N_{1,A} > N_{3,A}$
 - Ninguna de las opciones mencionadas es correcta

Pregunta 4 (15 pts)

Suponga que a los efectos de un cálculo necesita conocer la masa de un objeto. Ud. pesa el objeto en una balanza hasta la décima de gramo. El peso obtenido es 233,4 g.

Su cliente le pide el dato en onzas (1 onza = 28,349523125 g) y Ud. informa: 8,233 onza (mantiene las 4 cifras significativas).

El cliente le pide mayor precisión, y entonces Ud. consigue una balanza de precisión hasta la centésima de gramo y el peso que obtiene es: 233,44 g. Ahora, informa al cliente que el peso es 8,2344 onzas (ganó una cifra significativa).

Luego de enviar a su cliente el segundo resultado, éste le increpa pidiéndole explicaciones de “por qué el peso con 5 cifras significativas (8,2344 onza) cae fuera del rango de incertidumbre que suponía el valor anterior con 4 cifras (8,233)”.

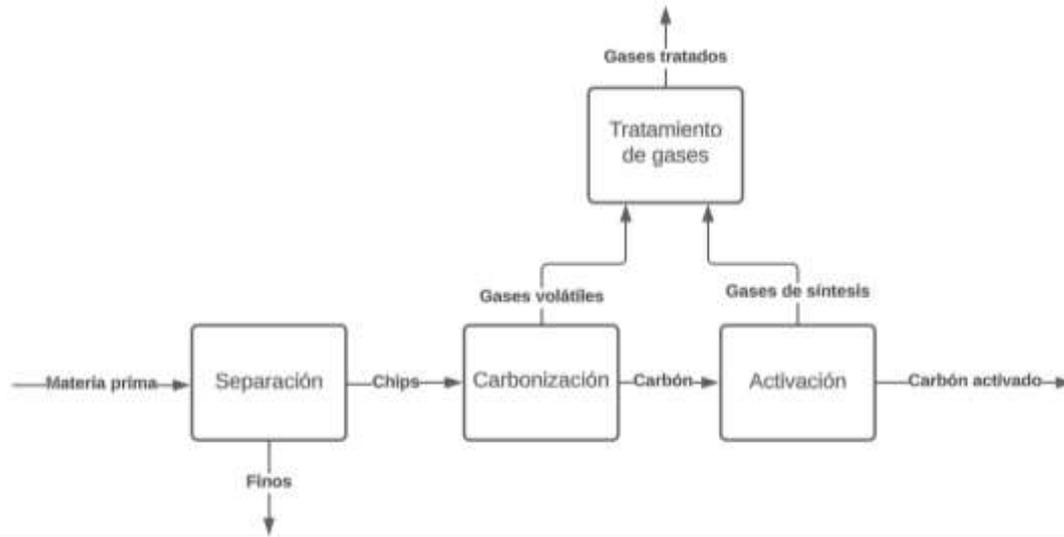
¿Qué respondería Ud. a su cliente?

Resolución Examen IIP Julio 2023

Pregunta 1

1a

Diagrama de bloques del proceso de producción de carbón activado:



b. Si la materia prima contiene 10% finos y 90% chips: ¿cuánta materia prima se necesita para producir 3000 ton/año de carbón activado? Expresar en ton/año.

Balance de masa de carbón activado en volumen de control carbonización + activación, en estado estacionario:

$$\text{Salida CA} = \text{Generación CA} \quad (1)$$

Donde:

$$\text{Salida CA} = 3000 \frac{\text{ton}}{\text{año}} \quad (2)$$

$$\text{Generación CA} = \text{rendimiento} \left(\frac{\text{CA}}{\text{chips}} \right) * \text{chips} = 0.2 (\text{ton CA/ton chips}) * \text{chips} \quad (3)$$

Sustituyendo (2) y (3) en (1):

$$\text{chips} = \frac{3000 (\text{ton CA/año})}{0.2 (\text{ton CA/ton chips})} = 15000 \text{ ton chips/año}$$

Teniendo en cuenta que la materia prima es 90% chips:

$$\text{mp} = \frac{15000 (\text{ton chips/año})}{0.9 (\text{ton chips/ton mp})} = \mathbf{16667 \text{ ton mp/año}}$$

c. ¿Cuál es el flujo total de gases que se libera a la atmósfera? Expresar en ton/año.

Balance de masa total en volumen de control carbonización + activación, en estado estacionario:

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$\text{chips} = \text{gases} + CA$$

$$\text{gases} = \text{chips} - CA = 15000 - 3000 = \mathbf{12000 \text{ ton gases/año}}$$

1b

Para encontrar cuál de las 2 alternativas es más rentable se procede a calcular del VAN.

Se conoce el precio del carbón activado en dólares por kilogramo ($\$_{CA}$), el precio de los finos en dólares por tonelada ($\$_{Finos}$), los costos fijos en dólares por año (C_{Fijos}), el valor de la inversión en dólares ($C_{Inversión}$) que se espera amortizar en 10 años, el impuesto a las utilidades (IU) y la tasa de costo capital (k). En ambos casos la producción de carbón activado deseada es la misma que en la pregunta 1a ($3000 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$).

$$\begin{aligned} \$_{CA} &= 2 \frac{\text{USD}}{\text{kg}} & \$_{Finos} &= 25 \frac{\text{USD}}{\text{ton}} & C_{Fijos} &= 1.000.000 \frac{\text{USD}}{\text{año}} & C_{Inversión} \\ & & & & & & = 5.000.000 \text{ USD} \end{aligned}$$

$$IU = 0,25 \quad k = 0,1$$

La nomenclatura para el resto de las variables es análoga: $C_{Variables}$ corresponde a los costos variables, $C_{Amortización}$ a la amortización, I_{Ventas} a los ingresos por ventas, U_{AI} a las utilidades antes del cálculo de impuestos y U a las utilidades después del cálculo de impuestos.

Para ambas alternativas:

$$C_{Amortización} = \frac{C_{Inversión}}{10} = \frac{5.000.000}{10} = 500.000 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

Para cada alternativa los datos que se proveen son el precio de la materia prima ($\$_{MPi}$) y la fracción de chips (x_i) para cada alternativa.

$$\$_{MP1} = 200 \frac{\text{USD}}{\text{ton}} \quad x_1 = 0,90 \quad \$_{MP2} = 240 \frac{\text{USD}}{\text{ton}} \quad x_2 = 0,99$$

Dado que la materia prima tiene la misma fracción de chips en la pregunta 1a, podemos utilizar los datos hallados anteriormente.

Caso 1:

Comenzando por la alternativa 1, en primer lugar, calcularemos el estado de resultados:

$$U = U_{AI}(1 - IU)$$

Donde:

$$U_{AI} = I_{Ventas1} - C_{Variables1} - C_{Amortización} - C_{Fijos}$$

Los ingresos corresponden a las ventas de carbón activado y de finos:

$$I_{Ventas1} = \$_{CA} \cdot w_{CA} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}} + \$_{Finos1} \cdot w_{Finos1}$$

Sabiendo que:

$$w_{CA} = w_{MP1} \cdot x \quad w_{Finos1} = w_{MP1} \cdot (1 - x)$$

Entonces:

$$I_{Ventas1} = 2 \frac{\text{USD}}{\text{kg}} \cdot 3000 \frac{\text{ton}}{\text{año}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}} + 200 \frac{\text{USD}}{\text{ton}} \cdot 1667 \frac{\text{ton}}{\text{año}} = 6.041.667 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

Los costos variables corresponden a la compra de la materia prima:

$$C_{Variables1} = \$_{MP1} \cdot w_{MP1} = 200 \frac{\text{USD}}{\text{ton}} \cdot 16.667 \frac{\text{ton}}{\text{año}} = 3.333.333 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

Todos los otros términos ya se encuentran definidos por lo que:

$$\begin{aligned} U_{A11} &= 6.041.667 \frac{\text{USD}}{\text{año}} - 3.333.333 \frac{\text{USD}}{\text{año}} - 500.000 \frac{\text{USD}}{\text{año}} - 1.000.000 \frac{\text{USD}}{\text{año}} \\ &= 1.208.333 \frac{\text{USD}}{\text{año}} \end{aligned}$$

$$U_1 = 1.208.333 \frac{\text{USD}}{\text{año}} (1 - 0,25) = 906.250 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

El valor de las utilidades después de los impuestos es igual para todos los años del estado de resultados.

Ahora es posible calcular el VAN como:

$$VAN = \sum_{i=0}^n \frac{F_i}{(1 - k)^i}$$

Siendo F_i el flujo de fondos para el año i , y n el número de años considerado, en este caso 10.

El flujo de fondos del año 0 corresponde únicamente al costo de la inversión y el de todos los años posteriores a las utilidades anteriormente calculadas, pero sin considerar la amortización, es decir:

$$F_i = U_1 + C_{Amortización} = 906.250 \frac{\text{USD}}{\text{año}} + 500.000 \frac{\text{USD}}{\text{año}} = 1.406.250 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

En la tabla siguiente se calcula el flujo de fondos (a valores actuales) para cada año.

Flujo de fondos Caso 1 (USD)		
Año	Inversión	Fondos (VA)
0	-5000000	0
1	0	1.278.409
2	0	1.162.190
3	0	1.056.536
4	0	960.488
5	0	873.171
6	0	793.791

7	0	721.629
8	0	656.026
9	0	596.387
10	0	542.170

Entonces:

$$VAN_1 = 3.640.797 \text{ USD}$$

Caso 2:

Análogamente, se realizan los mismos cálculos que para la parte anterior con la única diferencia de que la materia prima cambia, esto implica que tanto su flujo masico y por consiguiente su costo, como la fracción de chips y por ende los ingresos generados por los finos, son diferentes a los del caso anterior.

A modo de resumen se informan algunos de los datos intermedios:

$$w_{MP2} = 15152 \frac{\text{ton}}{\text{año}} \quad w_{Finos2} = 152 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

$$I_{Ventas2} = 6.003.788 \frac{\text{USD}}{\text{año}} \quad C_{Variables2} = 3.636.364 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

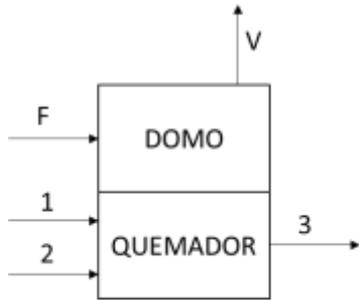
$$U_{AI2} = 867.424 \frac{\text{USD}}{\text{año}} \quad U_2 = 650.568 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

Flujo de fondos Caso 2 (USD)		
Año	Inversión	Fondos (VA)
0	-5000000	0
1	0	1045971
2	0	950883
3	0	864439
4	0	785854
5	0	714412
6	0	649466
7	0	590423
8	0	536749
9	0	487953
10	0	443594

$$VAN_2 = 2.069.743 \text{ USD}$$

Como se puede observar el VAN_1 es mayor al VAN_2 , eso nos indica que la primera alternativa es más rentable.

Cabe remarcar que sabiendo que lo único que cambia entre ambas alternativas es el precio y la fracción de chips correspondientes a la materia prima, es suficiente con calcular las utilidades antes de impuestos para ver que la alternativa 1 es más rentable.

Pregunta 2

Datos:

Corriente 1: CH₄ 70%, C₃H₈ 30%; 25°C; 5,5 m³/h

Corriente 2: aire; 90°C; exceso 20%

Corriente 3: humos; 300°C

Corriente F: agua de reposición; 35°C

Corriente V: vapor; 150°C

$$PV = nRT$$

$$1 \text{ (atm)} * 5500 \left(\frac{\text{L}}{\text{h}} \right) = n_1 \left(\frac{\text{mol}}{\text{h}} \right) * 0,08206 \left(\frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \right) * 273 \text{ (K)}$$

$$n_1 = 245 \text{ mol/h}$$

Balance de materia en el quemador, O₂ estequiométrico (α_q)

$$\text{C: } a + 3b = c$$

$$n_1 * 0,7 + 3 * n_1 * 0,3 = c = 393 \text{ mol/h}$$

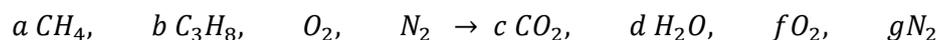
$$\text{H: } 4a + 8b = 2d$$

$$\frac{4 * n_1 * 0,7 + 8 * n_1 * 0,3}{2} = d = 638 \text{ mol/h}$$

$$\text{O: } 2\alpha_q = 2c + d \rightarrow \alpha_q = 712 \text{ mol/h}$$

$$\text{Exc} = \frac{n_{2,\text{O}_2} - \alpha_q}{\alpha_q} = 0,2$$

$$n_{2,\text{O}_2} = 854 \text{ mol/h}$$

Balance de materia en el quemador

$$\text{C: } a + 3b = c$$

$$n_1 * 0,7 + 3 * n_1 * 0,3 = c = 393 \text{ mol/h}$$

$$\text{H: } 4a + 8b = 2d$$

$$\frac{4 * n_1 * 0,7 + 8 * n_1 * 0,3}{2} = d = 638 \text{ mol/h}$$

$$\text{O: } 2n_{2,O_2} = 2c + d + 2f \quad \rightarrow f = 142 \text{ mol/h}$$

$$\text{N: } n_{3,N_2} = n_{2,N_2} = n_{2,O_2} * 79/21 = 3214 \text{ mol/h}$$

Composición de la corriente de humos

$$n_{3,N_2} = 3214 \frac{\text{mol}}{\text{h}} \langle \rangle 73,2\%$$

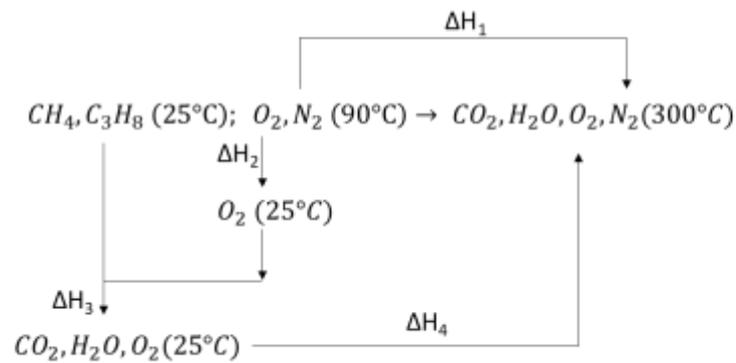
$$n_{3,O_2} = 142 \frac{\text{mol}}{\text{h}} \langle \rangle 3,3\%$$

$$n_{3,CO_2} = 393 \frac{\text{mol}}{\text{h}} \langle \rangle 8,9\%$$

$$n_{3,H_2O} = 638 \frac{\text{mol}}{\text{h}} \langle \rangle 14,6\%$$

Balance energía quemador

Diagrama de Hess



$$\sum \Delta H_i = Q + Q_p$$

$$\begin{aligned} \Delta H_1 &= n_{2,N_2} \left(\frac{\text{mol}}{\text{h}} \right) * C_{p_{N_2}} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) * (300 - 90)(^\circ\text{C}) * PM_{N_2} \left(\frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right) * \frac{1}{1000} \left(\frac{\text{kmol}}{\text{mol}} \right) \\ &= 19.466 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \end{aligned}$$

$$\Delta H_2 = n_{2,O_2} * C_{p_{O_2}} * (25 - 90) * PM_{O_2} * \frac{1}{1000} = -4.390 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$\Delta H_3 = n_1 * 0,7 \left(\frac{\text{mol}}{\text{h}} \right) * \Delta H_{r1} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) + n_1 * 0,3 \left(\frac{\text{mol}}{\text{h}} \right) * \Delta H_{r2} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right)$$

$$\Delta H_{r1} = \Delta H_{fCO_2} + 2 * \Delta H_{fH_2O,g} - \Delta H_{fCH_4} \quad (CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O)$$

$$\Delta H_{r1} = -801,9 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{r2} = 3 * \Delta H_{fCO_2} + 2 * \Delta H_{fH_2O,g} - \Delta H_{fC_3H_8} \quad (C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O)$$

$$\Delta H_{r2} = -2.042 \text{ kJ/h}$$

$$\Delta H_3 = -288.285 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$\Delta H_4 = (n_{3,CO_2} * C_{pCO_2} * \frac{PM_{CO_2}}{1000} + n_{3,O_2} * C_{pO_2} * \frac{PM_{O_2}}{1000} + n_{3,H_2O} * C_{pH_2O,g} * \frac{PM_{H_2O}}{1000}) * (300 - 25)$$

$$\Delta H_4 = 10.154 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$Q_p = Q_{\text{combustión}} * 0,1 = \Delta H_3 * 0,1 = -28.828 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$\sum \Delta H_i - Q_p = -206.105 + 28.828 = Q$$

$$Q = -231.276 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Balace de energía en el domo

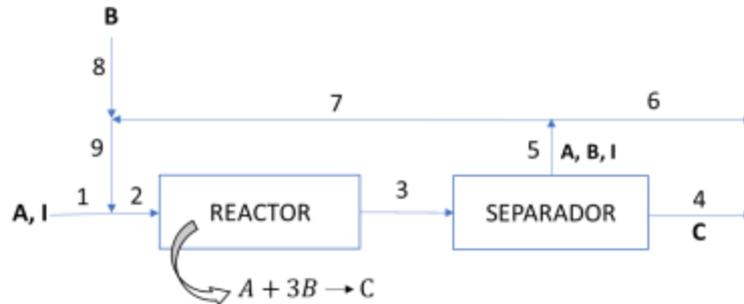
$$V * C_{pH_2O,l} * (100 - 35) + V * \Delta H_{vap} * \frac{1}{PM_{H_2O}} + V * C_{pH_2O,g} * (150 - 100) = Q$$

*Q positivo, el flujo de energía entra al domo de la caldera

$$V = 88 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Pregunta 3

Considere el sistema de la figura para responder la siguiente pregunta de múltiple opción. El sistema está en estado estacionario.



- Indique cuál/es de las siguientes relaciones entre flujos másicos son correctas.
 - $W_1 + W_8 = W_4 + W_6$
 - $W_1 + W_7 + W_8 = W_4 + W_5$
 - $W_1 + W_9 = W_3 + W_4 + W_5$
 - $W_2 = W_1 + W_7 + W_8 + W_9$
- Indique cuál/es de las siguientes relaciones son correctas respecto al flujo másico de compuesto I.
 - $W_{1,I} = W_{6,I}$
 - $W_{1,I} = W_{2,I}$
 - $W_{9,I} + W_{1,I} = W_{5,I}$
 - $W_{5,I} = W_{6,I} = W_{7,I}$
- Indique cuál/es de las siguientes relaciones son correctas respecto a la fracción molar de A.
 - $X_{1,A} = X_{2,A} = X_{9,A}$
 - $X_{7,A} = X_{9,A}$
 - $X_{5,A} = X_{6,A} = X_{7,A}$
 - $X_{3,A} = X_{5,A}$
 - Ninguna de las anteriores es correcta
- Indique cuál/es de las siguientes relaciones entre flujos molares son correctas.
 - $N_{1,A} = N_{6,A}$
 - $N_{1,I} = N_{5,I}$
 - $N_2 = N_3$
 - $N_8 + N_1 = N_4 + N_6$
 - Ninguna de las anteriores es correcta
- Indique cuál/es de las siguientes relaciones entre flujos másicos y molares son correctas.
 - $W_{1,A} = W_{5,A} - W_{7,A}$
 - $W_{9,A} = W_{5,A} - W_{6,A}$
 - $N_{9,A} + N_{1,A} > N_{3,A}$
 - Ninguna de las opciones mencionadas es correcta

Pregunta 4

Se evaluará la forma en que el estudiante explica lo que está planteado como una contradicción. La calificación apuntará a premiar la calidad del planteo tanto como el contenido. Se evaluará la exposición, la claridad, la demostración de solidez de los conceptos que manejan, la gramática, la sintaxis, etc.

Con relación a los conceptos evaluados, la última cifra significativa representa la cifra que no es segura; no da más información sobre cuál es el intervalo de incertidumbre de la medida. En ese sentido el número 8,233 nos dice que la milésima puede ser 3 pero que ese 3 es inseguro (podría ser 2 o 4). El número 8,2344 nos asegura que la milésima es 4 (y eso no contradice la información anterior).