

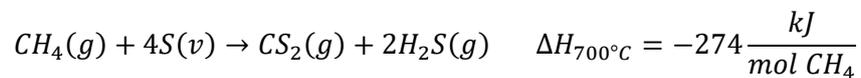
Examen Febrero 2025

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

Pregunta 1

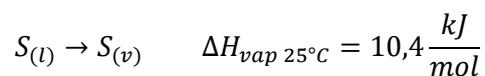
El disulfuro de carbono, un componente clave en la fabricación de fibras de rayón (fibra artificial celulósica), se produce por la reacción de metano y vapor de azufre sobre un catalizador de óxido metálico:



Al sistema se alimentan metano gaseoso y azufre líquido, ambos a 150 °C y en proporción estequiométrica. En una primera etapa, el metano y el azufre ingresan a un calentador, donde el azufre se vaporiza y ambos reactivos salen a 700 °C. Posteriormente, la corriente de reactivos a 700 °C es alimentada al reactor. La reacción química ocurre solamente dentro del reactor. Para que la salida del reactor esté a 800 °C es necesario refrigerarlo retirando 41 kJ/mol de alimentación.

- a) Calcule la conversión en el reactor.
- b) Calcule la cantidad de calor que debe aportar el calentador para calentar a los reactivos de 150°C a 700°C.
- c) Sugiera un método para economizar la energía requerida por este proceso.

Datos adicionales:



Compuesto	S(l)	S(v)	CH ₄ (g)	CS ₂ (g)	H ₂ S(g)
Cp (J/mol°C)	29,4	36,4	71,4	31,8	44,8

Pregunta 2

Una máquina requiere aceite limpio y frío para su correcto funcionamiento. Con este fin, se tiene una unidad de acondicionamiento, que toma el aceite usado por la máquina, lo acondiciona y lo retorna a la misma para ser utilizado nuevamente.

La unidad de acondicionamiento consiste en dos equipos conectados en serie: un filtro y un radiador. En primer lugar, el filtro remueve el 90% de las impurezas del aceite usado que ingresa al filtro. Luego, el aceite filtrado pasa por el radiador para disipar su calor al ambiente, de forma tal que el radiador remueve 134,4 kJ por kg aceite que ingresa al radiador. El aceite limpio es recirculado a la máquina.

Se piensa instalar un bypass que conecte la entrada de la unidad de acondicionamiento con su salida para extender la vida útil del filtro y disminuir la frecuencia del mantenimiento del radiador sabiendo que:

- La temperatura del aceite a la salida de la unidad de acondicionamiento es de 60 °C.
- El flujo de aceite a la entrada de la unidad de acondicionamiento es de 1000 kg/h, tiene una temperatura de 80 °C y una concentración de contaminantes del 5% en masa.
- Se asume que la mezcla aceite-impurezas tiene una capacidad calorífica de 4,2 kJ/kgK sin importar la concentración.

a) Realizar un diagrama de bloques de la unidad de acondicionamiento.

b) Determinar el flujo de aceite por el bypass y la concentración de impurezas a la salida de la unidad de acondicionamiento.

Pregunta 3

Una industria de tamaño mediano ha tenido un crecimiento de ventas no previsto en los últimos años. Por ese motivo, el directorio está evaluando una ampliación de la capacidad de producción, que implica una inversión en equipos de 8 millones de dólares. Se espera que esta inversión permita la generación de beneficios adicionales, antes de impuestos, que se estiman en la siguiente tabla:

Año	Utilidad antes de impuestos (usd)
1	200.000
2	600.000
3	1.000.000
4	1.400.000
5	1.800.000
6	2.200.000
7	2.600.000
8	3.000.000
9	3.400.000
10	3.800.000

La inversión se amortiza lineal y completamente, siendo despreciable el valor residual al final de la vida útil (10 años). El aumento de ventas hará inmovilizar, en el primer año de operación, 2 millones de dólares en capital de giro, recuperables en su totalidad al final del período.

La inversión se financia con capital propio cuya tasa de descuento es del 8%.

La tasa de impuesto a la renta aplicable a la empresa es 25%.

Analice si el proyecto de ampliación es conveniente desde el punto de vista financiero.

Apellidos	Nombre	CI	Carrera	Hoja (n/M)

Pregunta 4

Al efectuar balances de materia en un sistema en el cual ocurre un proceso de transformación se puede escoger hacer balance de masa o balance de moles. A su vez se puede efectuar balance total, balance de sustancias individuales, o balances de especies atómicas.

- a) Complete el cuadro indicando en cada caso, si la propiedad “es invariante” o si “puede variar”.

Propiedad	Balance global		Balance de una única sustancia interviniente		Balance de una única especie atómica	
	masa total	moles de todas las sustancias	masa de la sustancia	moles de la sustancia	masa de la especie atómica	moles de la especie atómica
sin reacciones químicas ni nucleares						
con reacciones químicas						
con reacciones nucleares						

- b) Plantee la ecuación de balance de masa general. Simplifique la ecuación considerando que el sistema se encuentra en estado estacionario. Cuando la propiedad es “invariante”, ¿cómo se ven afectados los términos de la ecuación simplificada?

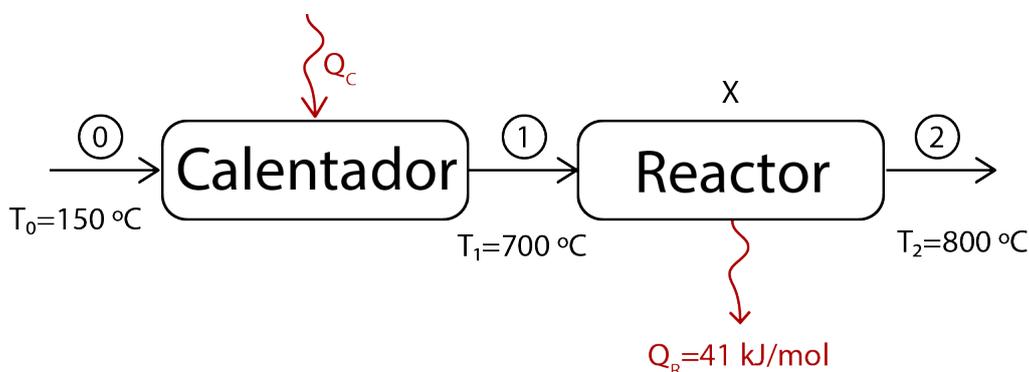
Apellidos	Nombre	CI	Carrera	Hoja (n/M)

Pregunta 5

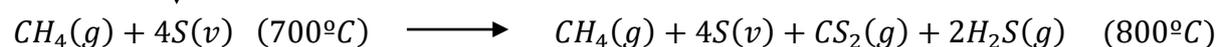
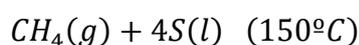
En las clases se ha presentado una guía con pasos para el abordaje de problemas partiendo de la base de que un cliente tiene un problema y nos solicita nuestra intervención para resolverlo. Se ha dicho que esos pasos son sólo una guía y no una “receta” obligatoria, sino que lo más importante es usar el “sentido común”. De hecho, la forma como el cliente nos plantee el problema nos obligará a hacer más o menos trabajo de análisis de situación antes de intentar formular alternativas de solución. Indique cuáles de las siguientes aseveraciones son verdaderas (V) y cuáles son Falsas (F). No justifique su respuesta.

- a) Si el cliente nos plantea un enunciado que incluye el diagnóstico de la o las causas del problema entonces los primeros pasos de la guía ya estarán cumplidos exitosamente y podemos pasar directo al paso 5 para formular alternativas de solución que corrijan las causas que nos informa el cliente.
- b) Si el cliente nos informa de su problema y nos solicita un trabajo que él considera suficiente para resolver su problema, a menos que expresamente nos indique otra cosa, será conveniente que nosotros -antes de abocarnos a hacer el trabajo solicitado- verifiquemos que el trabajo que nos pide podrá resolver con éxito el problema del que nos informa.
- c) Si el cliente nos plantea un enunciado exhaustivo pero que no incluye las causas de su problema porque no las conoce, entonces el primer paso (Asegurarse de tener bien definido el problema a resolver) ya estará cumplido exitosamente, pero tendremos que dedicar más tiempo a los pasos que implican la búsqueda de datos/información, el análisis de la evidencia y la formulación del objetivo que debe cumplir la “Solución”.
- d) Si el cliente nos plantea un enunciado que incluye el diagnóstico de la o las causas y además nos da toda la información relevante (datos) a tener en cuenta, aun así, será conveniente empezar verificando que se ha identificado correctamente el problema que realmente importa.

1)a) Se pide la conversión del reactor. En primer lugar, realizaremos un diagrama de bloques comprender nuestro sistema y comenzaremos definiendo las corrientes presentes.

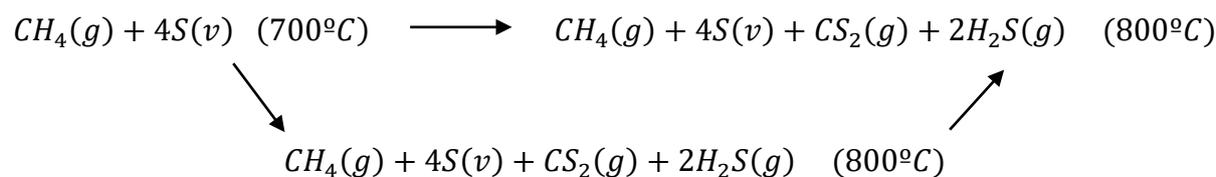


Dentro del sistema los reactivos sufren procesos de transformación según:



En primer lugar, el metano y azufre ingresan al sistema y son calentados. A continuación, los reactivos ingresan al reactor donde reaccionan y forman el producto de interés.

Dado que se nos pide la conversión del reactor optamos por realizar un balance de energía en el reactor para cuyo planteo nos basamos en el siguiente ciclo de Hess



BE en el reactor

$$-5Q_R F_{1,CH_4} = (F_{2,CH_4} C_{p,CH_4} + F_{2,S} C_{p,S,v} + F_{2,CS_2} C_{p,CS_2} + F_{2,H_2S} C_{p,H_2S}) \cdot (T_2 - T_1) + F_{1,CH_4} \cdot X \cdot \Delta H_{700^\circ C}$$

Ahora nos resulta conveniente expresar los flujos de todos los reactivos y productos en función del flujo de metano que ingresa al reactor por lo que realizaremos balances de masa en el reactor para cada componente.

BM de metano en el reactor

$$0 = F_{1,CH_4} - F_{2,CH_4} - F_{1,CH_4} \cdot X$$

$$F_{2,CH_4} = F_{1,CH_4} \cdot (1 - X)Cp_{CH_4}$$

BM de azufre en el reactor

$$0 = F_{1,S} - F_{2,S} - 4 \cdot F_{1,CH_4} \cdot X$$

$$0 = 4 \cdot F_{1,CH_4} - F_{2,S} - 4 \cdot F_{1,CH_4} \cdot X$$

$$F_{2,S} = 4 \cdot F_{1,CH_4} \cdot (1 - X)$$

BM de disulfuro de carbono en el reactor

$$0 = -F_{2,CS_2} + F_{1,CH_4} \cdot X$$

$$F_{2,CS_2} = F_{1,CH_4} \cdot X$$

BM de sulfuro de hidrógeno en el reactor

$$0 = -F_{2,H_2S} + 2 \cdot F_{1,CH_4} \cdot X$$

$$F_{2,H_2S} = 2 \cdot F_{1,CH_4} \cdot X$$

Finalmente tenemos todos los términos faltantes y podemos sustituir en el balance de energía.

$$-5Q_R F_{1,CH_4} = (F_{1,CH_4}(1 - X)Cp_{CH_4} + 4F_{1,CH_4}(1 - X)Cp_{S,v} + F_{1,CH_4}XCp_{CS_2} + 2F_{1,CH_4}XCp_{H_2S}) \cdot (T_2 - T_1) + F_{1,CH_4} \cdot X \cdot \Delta H_{700^\circ C}$$

Simplificando

$$-5Q_R = ((1 - X)Cp_{CH_4} + 4(1 - X)Cp_{S,v} + XCp_{CS_2} + 2XCp_{H_2S}) \cdot (T_2 - T_1) + X \cdot \Delta H_{700^\circ C}$$

Despejando

$$-5Q_R = Cp_{CH_4}(T_2 - T_1) - XCp_{CH_4}(T_2 - T_1) + 4Cp_{S,v}(T_2 - T_1) - 4XCp_{S,v}(T_2 - T_1) + XCp_{CS_2}(T_2 - T_1) + 2XCp_{H_2S}(T_2 - T_1) + X \cdot \Delta H_{700^\circ C}$$

$$-5Q_R = X \left((Cp_{CS_2} + 2Cp_{H_2S} - Cp_{CH_4} - 4Cp_{S,v})(T_2 - T_1) + \Delta H_{700^\circ C} \right) + (Cp_{CH_4} + 4Cp_{S,v})(T_2 - T_1)$$

$$(Cp_{CH_4} + 4Cp_{S,v})(T_2 - T_1) - Q_R = X \left((Cp_{CS_2} + 2Cp_{H_2S} - Cp_{CH_4} - 4Cp_{S,v})(T_2 - T_1) + \Delta H_{700^\circ C} \right)$$

$$X = \frac{-(Cp_{CH_4} + 4Cp_{S,v})(T_2 - T_1) - 5Q_R}{(Cp_{CS_2} + 2Cp_{H_2S} - Cp_{CH_4} - 4Cp_{S,v})(T_2 - T_1) + \Delta H_{700^\circ C}} = 80\%$$

1)b) Se pide el calor aportado por el calentador. Para esto, procedemos a realizar un balance de energía en el calentador considerando el cambio de fase del azufre.

BE en el calentador

$$Q_C = F_{0,CH_4} C_{p_{CH_4}} (T_{700} - T_{150}) + F_{0,S} C_{p_{S,l}} (T_{25} - T_{150}) + F_{0,S} \Delta H_{vap\ 25^\circ C} + F_{0,S} C_{p_{S,v}} (T_{700} - T_{25})$$

Dado que no conocemos el flujo de reactivos optamos por expresar el resultado en función del flujo de metano.

Debido a que sabemos que el flujo de azufre corresponde a la cantidad estequiométrica respecto a la reacción que ocurre en el reactor podemos sustituir el flujo de azufre en la expresión anterior como:

$$Q_C = F_{0,CH_4} C_{p_{CH_4}} (T_{700} - T_{150}) + 4F_{0,CH_4} C_{p_{S,l}} (T_{25} - T_{150}) + 4F_{0,CH_4} \Delta H_{vap\ 25^\circ C} + 4F_{0,CH_4} C_{p_{S,v}} (T_{700} - T_{25})$$

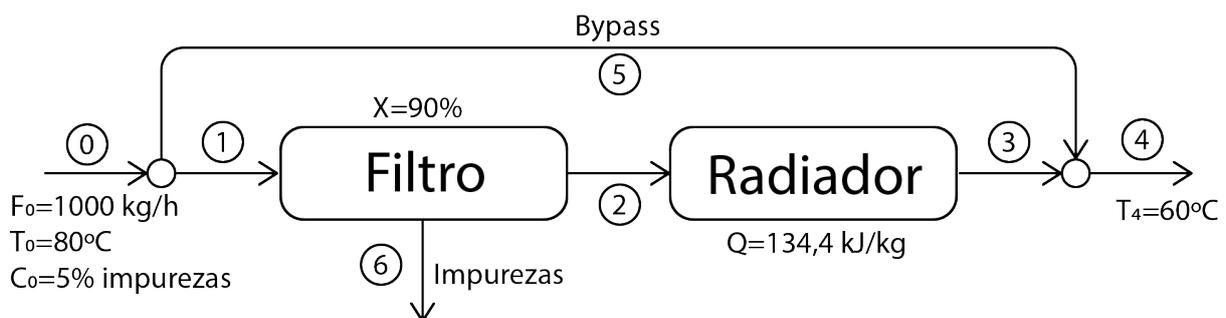
$$Q_C = F_{0,CH_4} \left(C_{p_{CH_4}} (T_{700} - T_{150}) + 4C_{p_{S,l}} (T_{25} - T_{150}) + 4\Delta H_{vap\ 25^\circ C} + 4C_{p_{S,v}} (T_{700} - T_{25}) \right)$$

$$\frac{Q_C}{F_{0,CH_4}} = C_{p_{CH_4}} (T_{700} - T_{150}) + 4C_{p_{S,l}} (T_{25} - T_{150}) + 4\Delta H_{vap\ 25^\circ C} + 4C_{p_{S,v}} (T_{700} - T_{25})$$

$$\frac{Q_C}{F_{0,CH_4}} = 164,5 \frac{kJ}{mol\ CH_4}$$

1)c) Una posible alternativa para economizar la energía utilizada en el proceso es precalentar los reactivos a una menor temperatura y permitir que el calor liberado por la reacción eleve la temperatura en el reactor al valor deseado.

2)a)



2)b) Se pide hallar la concentración de impurezas a la salida y el flujo por el *Bypass* conociendo la temperatura de salida ($T_4 = 60^\circ\text{C}$).

Comenzamos con un balance que involucra el flujo de *Bypass* y la concentración a la salida.

BM de impurezas en el punto de mezcla

$$0 = C_3F_3 + C_5F_5 - C_4F_4$$

$$C_4F_4 = C_3F_3 + C_5F_5$$

$$C_4 = \frac{C_3F_3 + C_5F_5}{F_4}$$

Dado que no conocemos la corriente de salida:

BM global en el punto de mezcla

$$0 = F_3 + F_5 - F_4$$

$$F_4 = F_3 + F_5$$

Entonces

$$C_4 = \frac{C_3F_3 + C_5F_5}{F_3 + F_5}$$

La corriente 5 corresponde al *bypass* y por ende se puede asumir que tiene las mismas características que la corriente de entrada:

$$C_5 = C_0 = 5\%$$

$$C_4 = \frac{C_3F_3 + C_0F_5}{F_3 + F_5}$$

Para hallar C_4 nos falta ahora determinar C_3 , F_3 y F_5 .

Comencemos por C_3 .

BM de impurezas en el radiador

$$0 = F_2C_2 - F_3C_3$$

$$F_2C_2 = F_3C_3$$

Dado que la corriente no sufre ningún intercambio de masa ni reacción química en el radiador:

BM global en el radiador

$$0 = F_2 - F_3$$

$$F_2 = F_3$$

Entonces

$$C_2 = C_3$$

Ahora debemos hallar C_2

BM de impurezas en el filtro

$$0 = F_1 C_1 - F_6 - F_2 C_2$$

$$0 = F_1 C_1 - F_1 C_1 X - F_2 C_2$$

$$F_2 C_2 = F_1 C_1 - F_1 C_1 X$$

Dado que no conocemos F_2

BM global en el filtro

$$0 = F_1 - F_6 - F_2$$

$$0 = F_1 - F_1 C_1 X - F_2$$

$$F_2 = F_1 (1 - C_1 X)$$

Entonces

$$F_1 (1 - C_1 X) C_2 = F_1 C_1 (1 - X)$$

$$C_2 = \frac{C_1 (1 - X)}{(1 - C_1 X)}$$

La corriente 1 corresponde a 1 de los flujos que se produce en la bifurcación que genera el *bypass* por lo que sus características son las mismas de la corriente de entrada.

$$C_1 = C_0 = 5\%$$

$$C_2 = C_3 = \frac{C_0 (1 - X)}{(1 - C_0 X)} \approx 0,52\%$$

Ahora pasaremos a hallar el flujo de *bypass*.

BE punto de mezcla

$$0 = F_4 C_P (T_4 - T_{ref}) - F_3 C_P (T_3 - T_{ref}) - F_5 C_P (T_5 - T_{ref})$$

$$0 = F_4 (T_4 - T_{ref}) - F_3 (T_3 - T_{ref}) - F_5 (T_5 - T_{ref})$$

$$0 = F_4 (T_4 - T_{ref}) - F_3 (T_3 - T_{ref}) - F_5 (T_5 - T_{ref})$$

De balance previo sabemos que $F_4 = F_3 + F_5$

Por lo que

$$0 = (F_3 + F_5)(T_4 - T_{ref}) - F_3(T_3 - T_{ref}) - F_5(T_5 - T_{ref})$$

$$0 = (F_3 + F_5)(T_4 - T_{ref}) - F_3(T_3 - T_{ref}) - F_5(T_5 - T_{ref})$$

$$0 = F_3T_4 - F_3T_{ref} + F_3T_{ref} - F_3T_3 + F_5T_4 - F_5T_{ref} + F_5T_{ref} - F_5T_3$$

$$0 = F_3T_4 - F_3T_3 + F_5T_4 - F_5T_3$$

$$0 = F_3(T_4 - T_3) + F_5(T_4 - T_5)$$

Nuevamente, la corriente 5 corresponde al *bypass* y por ende se puede asumir que tiene las mismas características que la corriente de entrada:

$$T_5 = T_0 = 80^\circ C$$

Entonces

$$0 = F_3(T_4 - T_3) + F_5(T_4 - T_0)$$

Ahora necesitamos conocer T_3

BE en el radiador

$$F_2Q = -F_2C_p(T_3 - T_2)$$

$$Q = -C_p(T_3 - T_2)$$

$$T_3 = T_2 - \frac{Q}{C_p}$$

Nuevamente, la corriente 1 corresponde a uno de los flujos que se produce en la bifurcación que genera el *bypass*, por lo que sus características son las mismas de la corriente de entrada.

$$T_1 = T_0 = 80^\circ C$$

A su vez, no se considera transferencia de calor previo al radiador, por lo que

$$T_2 = T_1 = 80^\circ C$$

$$T_3 = T_0 - \frac{Q}{C_p} = 80^\circ C - \frac{134,4 \frac{kJ}{kg}}{4,2 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}} \approx 48^\circ C$$

Ahora es necesario determinar F_3

Como ya sabemos $F_3 = F_2 = F_1(1 - C_1X)$

Y para determinar F_1

BM punto de bifurcación

$$0 = F_0 - F_1 - F_5$$

$$F_1 = F_0 - F_5$$

Finalmente retomando sobre $0 = F_3(T_4 - T_3) + F_5(T_4 - T_0)$

$$0 = (F_0 - F_5)(1 - C_0X)(T_4 - T_3) + F_5(T_4 - T_0)$$

$$0 = F_0(1 - C_0X)(T_4 - T_3) - F_5(1 - C_0X)(T_4 - T_3) + T_4F_5 - T_0F_5$$

$$F_5(1 - C_0X)(T_4 - T_3) + T_0F_5 - T_4F_5 = F_0(1 - C_0X)(T_4 - T_3)$$

$$F_5((1 - C_0X)(T_4 - T_3) + T_0 - T_4) = F_0(1 - C_0X)(T_4 - T_3)$$

$$F_5 = \frac{F_0(1 - C_0X)(T_4 - T_3)}{((1 - C_0X)(T_4 - T_3) + T_0 - T_4)} \approx 364,3 \frac{kg}{h}$$

y

$$C_4 = \frac{C_3F_3 + C_0F_5}{F_3 + F_5} \approx 2,2\%$$

3) Se pide evaluar si la ampliación es conveniente o no desde el punto de vista financiero. Para esto utilizaremos el VAN como criterio de rentabilidad.

Dado que ya contamos con un estimativo de las utilidades antes de impuestos, partimos de este punto calculando las utilidades con la siguiente expresión:

$$\text{Impuestos} = \text{UAI} \cdot \text{tasa de impuesto a la renta}$$

$$\text{UDI} = \text{UAI} - \text{Impuestos}$$

Obtenemos así el estado de resultados:

Año	Utilidad antes de impuestos	Impuestos	Utilidad después de impuestos
1	200,000	50,000	150,000
2	600,000	150,000	450,000
3	1,000,000	250,000	750,000
4	1,400,000	350,000	1,050,000
5	1,800,000	450,000	1,350,000
6	2,200,000	550,000	1,650,000
7	2,600,000	650,000	1,950,000
8	3,000,000	750,000	2,250,000
9	3,400,000	850,000	2,550,000
10	3,800,000	950,000	2,850,000

Ahora, para calcular, dado que la amortización no es un flujo de fondos, debemos adicionarlo a la utilidad después de impuestos previamente calculada. Sabiendo que la amortización se puede calcular con la siguiente expresión:

$$Amortización = \frac{Inversión}{Vida\ útil}$$

Las utilidades resultan:

$$Utilidades = UDI + Amortización$$

Ahora, teniendo en cuenta la inversión y el capital de giro para los años correspondientes podemos calcular los flujos de fondos y a continuación su valor actual con la siguiente expresión:

$$VA = \frac{Flujo}{(1 + t)^{año}}$$

Año	Inversión	Capital de Giro	Utilidades	Flujo	Valor Actual
0	- 8,000,000			- 8,000,000	- 8,000,000
1		- 2,000,000	950,000	- 1,050,000	- 972,222
2			1,250,000	1,250,000	1,071,674
3			1,550,000	1,550,000	1,230,440
4			1,850,000	1,850,000	1,359,805
5			2,150,000	2,150,000	1,463,254
6			2,450,000	2,450,000	1,543,916
7			2,750,000	2,750,000	1,604,599
8			3,050,000	3,050,000	1,647,820
9			3,350,000	3,350,000	1,675,834
10		2,000,000	3,650,000	5,650,000	2,617,043

Finalmente podemos calcular el valor actual neto como:

$$VAN = \sum_{k=0}^{n=10} VA_k$$

Dando como resultado un VAN= 5,242,162 USD por lo que el proyecto de ampliación resulta conveniente.

4)a)

Propiedad	Balance global		Balance de una única sustancia interviniente		Balance de una única especie atómica	
	masa total	moles de todas las sustancias	masa de la sustancia	moles de la sustancia	masa de la especie atómica	moles de la especie atómica
sin reacciones químicas ni nucleares	invariante	invariante	invariante	invariante	invariante	invariante
con reacciones químicas	invariante	Puede variar	Puede variar	Puede variar	invariante	invariante
con reacciones nucleares	Puede variar	Puede variar	Puede variar	Puede variar	Puede variar	Puede variar

4)b)

Balance de masa general: $A = E - S + G - C$

Balance de masa en estado estacionario: $0 = E - S + G - C$

Balance de masa en estado estacionario para una propiedad invariante: $0 = E - S$

5)a) F

5)b) v

5)c) F

5)d) v