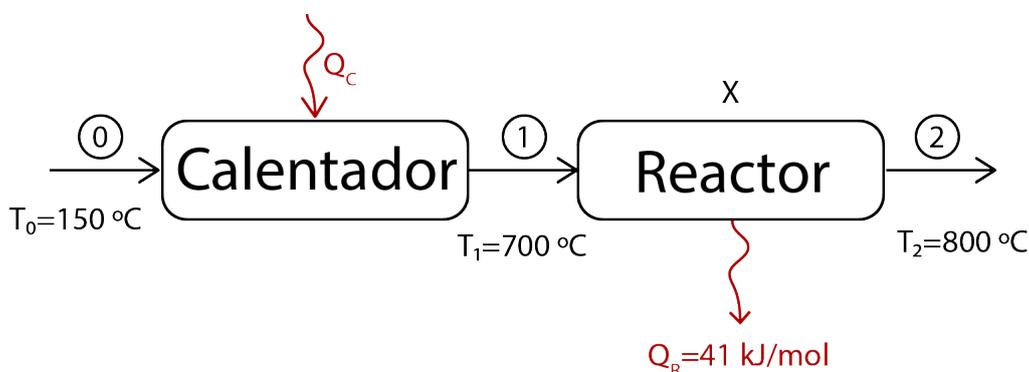
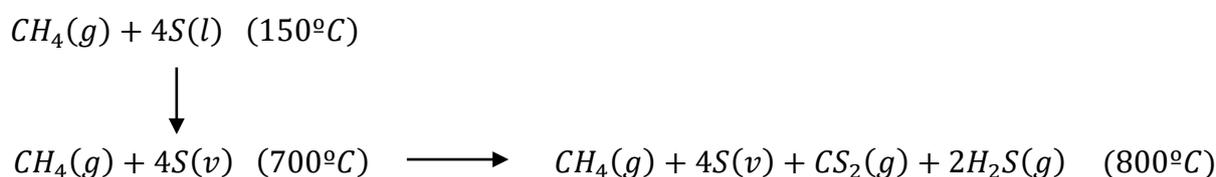


1)a) Se pide la conversión del reactor. En primer lugar, realizaremos un diagrama de bloques comprender nuestro sistema y comenzaremos definiendo las corrientes presentes.

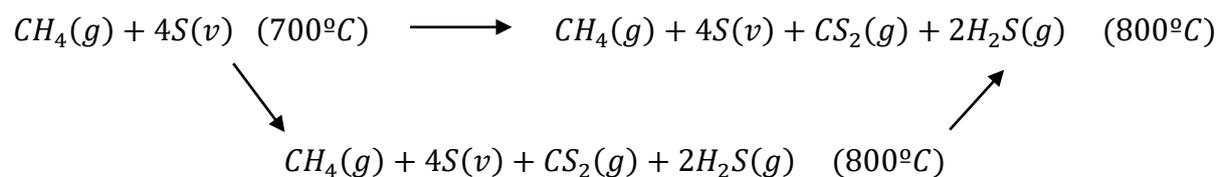


Dentro del sistema los reactivos sufren procesos de transformación según:



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:

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

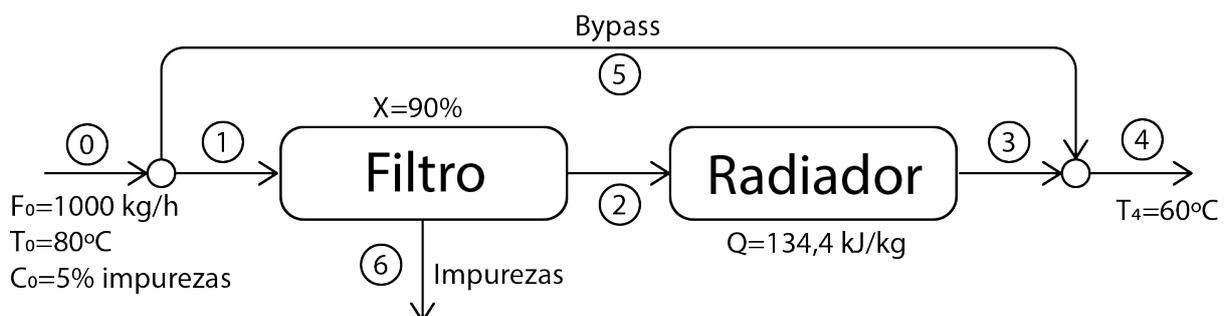
$$Q_C = F_{0,CH_4} \left(C_{p_{CH_4}} (T_{700} - T_{150}) + 4C_{p_{S,l}} (T_{25} - T_{150}) + 4\Delta H_{vap\ 25^\circ C} + 4C_{p_{S,v}} (T_{700} - T_{25}) \right)$$

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

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

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:

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

Las utilidades resultan:

$$\text{Utilidades} = \text{UDI} + \text{Amortización}$$

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:

$$VA = \frac{\text{Flujo}}{(1 + t)^{\text{año}}}$$

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