

Unidad

6

Balances de Masa con Reacción Química

Introducción

Hasta ahora hemos venido estudiando que la masa de cada compuesto se conserva. Esto es totalmente válido en aquellos sistemas en los cuales no hay reacción química, es decir, se trabaja en procesos únicamente físicos. De ahora en adelante, vamos a comenzar a trabajar con balances de materiales en sistemas en los cuales sí hay reacción química y, por lo tanto, “la masa de cada una de las especies ya no se conserva”. Así, se tiene que hallar una nueva ecuación de balance que tome en cuenta la desaparición de algunas especies, así como la aparición de otras. Para ello tenemos que estudiar las ecuaciones químicas o estequiométricas.

Objetivo

Al terminar esta Unidad el estudiante deberá ser capaz de resolver las ecuaciones de balance de masa de un sistema que no depende del tiempo pero que tiene presente cambios químicos.

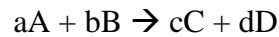
Contenido

Esta unidad consta de los siguientes temas:

Tema	Página
1. Balances de masa con reacción química	150
2. Balances por componente con reacciones químicas múltiples	158

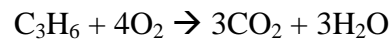
Tema 1**Balances de masa con reacción química**

Dalton demostró que las sustancias químicas consistían en proporciones fijas de átomos de diferentes tipos de elementos. De esta manera él estableció una base lógica para la Ley de las Proporciones Múltiples, la cual expresa que cuando una sustancia se combina con otra en mayor proporción, estas proporciones están relacionadas entre sí por números enteros. Esta Ley, junto con el concepto de molécula de Avogadro y la suposición de que los átomos de cada tipo deben conservarse, llevaron al desarrollo de la ecuación estequiométrica:



Esta ecuación lo que expresa es: “a moléculas del compuesto A se combinan con b moléculas del compuesto B para producir c y d moléculas de los compuestos C y D respectivamente.” En donde a, b, c y d son los llamados coeficientes estequiométricos.

Ejemplo:

**Balances por componente con reacción química**

A continuación vamos a estudiar aquellos sistemas en los cuales se produce únicamente una reacción química. En estos tipos de sistemas los flujos molares de las especies que entran no son iguales a los que salen. Es decir:

$$N_s^{\text{entrada}} \neq N_s^{\text{salida}}$$

Sigue.....

Continuación de balances de masa con reacción química.....

Por ese motivo es necesario definir la razón molar de producción de s (R_s) como la diferencia entre los flujos de entrada y de salida de la especie s:

$$R_s = N_s^{\text{salida}} - N_s^{\text{entrada}}$$

$$R_s = \frac{F_s^{\text{salida}} - F_s^{\text{entrada}}}{M_s}$$

en donde M_s es el peso molecular de la especie s.

Velocidad de reacción

A pesar de que ya tenemos una ecuación de balance para cada componente en sistemas con reacción química, ésta viene expresada en términos de la tasa de producción de una sustancia dada. Es preferible buscar una expresión en términos de una reacción dada que sea independiente de la sustancia elegida como referencia. Para ello definiremos la velocidad de reacción (r) de cualquier reacción mediante:

$$r = \frac{R_s}{\sigma_s}$$

en donde σ_s representa el coeficiente estequiométrico de la sustancia s en la reacción, se le asignará convencionalmente un signo negativo a los coeficientes de los reactivos y un signo positivo a los de los productos. Las nuevas ecuaciones de balance serán de la forma:

$$N_s^{\text{salida}} = N_s^{\text{entrada}} \pm \sigma_s r$$

$$F_s^{\text{salida}} = F_s^{\text{entrada}} \pm \sigma_s M_s r$$

En esta forma, en sistemas donde haya una sola reacción química, se tendrá únicamente una variable adicional: la tasa o velocidad de reacción r .

Sigue.....

La velocidad de reacción tiene unidades de mol/h y participa en la ecuación de balance como si fuera un flujo de componente. Por lo tanto, las ecuaciones de balance son homogéneas no sólo en los flujos, sino también en la velocidad de reacción.

Reactivo limitante y conversión

La conversión no es otra cosa que el grado de avance o progreso de una reacción. La conversión de un reactivo se define como:

$$X_s = \frac{(N_s^{\text{salida}} - N_s^{\text{entrada}})}{N_s^{\text{entrada}}}$$

Generalmente en todos aquellos procesos en que ocurre reacción química, uno de los reactantes está presente en menor cantidad que el o los demás reactantes y, por lo tanto, es el primero que se termina a medida que va avanzando la reacción. A este reactante se le conoce como reactivo limitante. La conversión de un proceso siempre estará referida al reactivo limitante.

En muchas oportunidades uno de los reactivos es añadido en exceso; generalmente para promover un mayor contacto entre los reactantes y facilitar el proceso de la reacción. Un ejemplo típico es el del oxígeno en las reacciones de combustión. Por lo tanto, también definiremos el exceso en el cual un reactante es suministrado a un sistema:

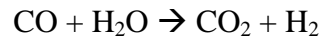
$$\% \text{ Exceso} = \frac{(N_s^{\text{entra}} - N_s^{\text{teórica}})}{N_s^{\text{teórica}}} * 100$$

En donde $N_s^{\text{teórica}}$ representa la cantidad estequiométrica del componente s.

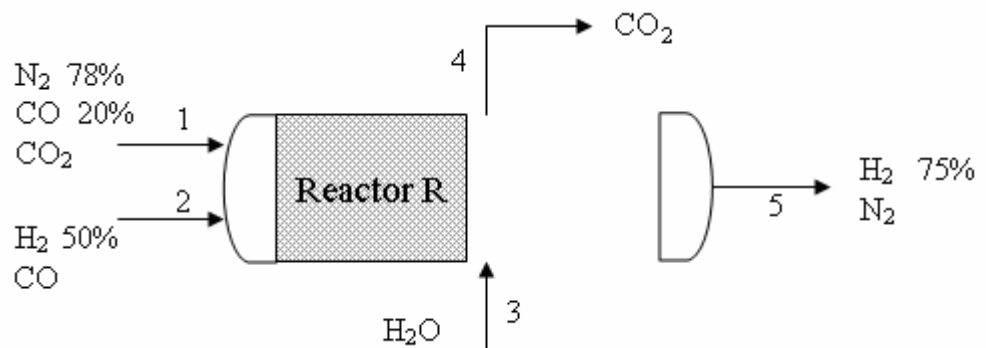
Sigue.....

Ejemplo 1:

La mezcla estequiométrica de $H_2 - N_2$ (75% H_2 - 25% N_2) para la síntesis de amoníaco se prepara mezclando gas de “productor” (78% N_2 - 20% CO - 2% CO_2) con gas de “agua” (50% H_2 - 50% CO). El monóxido de carbono, que actúa como veneno del catalizador de síntesis, se elimina haciendo reaccionar esta mezcla de gases con vapor de agua, para formar dióxido de carbono e hidrógeno mediante la siguiente reacción:



Posteriormente se elimina el CO_2 mediante lavado por absorción con solvente. Suponiendo que todos los porcentajes son molares y que se añade la cantidad de agua estequiométrica, determine la proporción en que deben mezclarse los gases “productor” y de “agua”.



Comencemos haciendo un análisis de sus grados de libertad:

Variables independientes: 9 + 1

Ec. balance linealmente ind.: 5

Comp. especificadas: 4

Base de cálculo: 1

Grados de libertad: 0

Por lo tanto el problema está perfectamente definido y podemos resolverlo.

Sigue.....

Balance de masa global:

$$N^{\text{sale}} = N^{\text{entra}} + r \sum_{s=1}^5 \sigma_s$$

Balance en cada uno de los compuestos:

$$\text{Balance en CO:} \quad 0 = 0,2N_1 + 0,5N_2 - r$$

$$\text{Balance en H}_2\text{O:} \quad 0 = N_3 - r$$

$$\text{Balance en CO}_2\text{:} \quad N_4 = 0,02N_1 + r$$

$$\text{Balance en H}_2\text{:} \quad 0,75N_5 = 0,5N_2 + r$$

$$\text{Balance en N}_2\text{:} \quad 0,25N_5 = 0,78N_1$$

Como en el problema no está establecido ningún flujo másico, se toma como base de cálculo $N_1 = 100 \text{ mol/h}$ y se resuelve.

$$N_5 = 312 \text{ mol/h} \quad N_2 = 214 \text{ mol/h} \quad r = 127 \text{ mol/h}$$

$$N_3 = 127 \text{ mol/h} \quad N_4 = 129 \text{ mol/h}$$

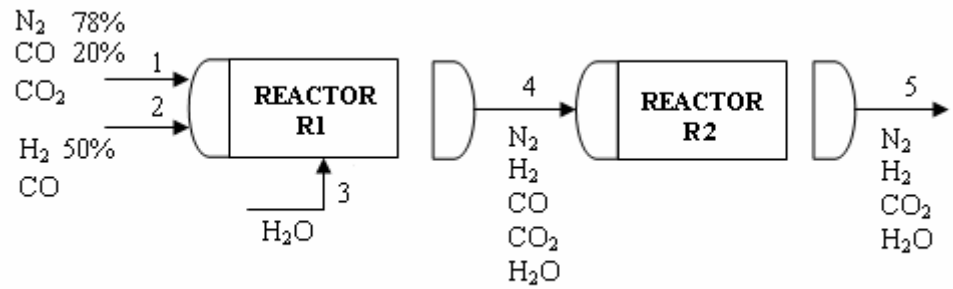
Ejemplo 2:

Debido a que es esencial la eliminación completa del CO, la reacción del ejemplo anterior suele llevarse a cabo en dos reactores, cada uno de los cuales posee un catalizador diferente. El primer reactor, el cual hace la mayor parte de la conversión, utiliza un catalizador más barato. El segundo reactor utiliza un catalizador más costoso, el cual es capaz de efectuar prácticamente la conversión completa del CO restante.

En el proceso mostrado en la figura, se obtiene un producto que contiene H_2 y N_2 en una relación 3:1. Si la corriente de vapor se ajusta de tal forma que es el doble del flujo de gas seco y si en el primer reactor hay una conversión del 80%, calcule la composición de la corriente intermedia.

Sigue.....

Continuación de balances de masa con reacción química.....



Lo primero que vamos a hacer es determinar los grados de libertad del sistema. En este caso, la reacción se realiza en ambos reactores y, por lo tanto, cada reactor tendrá asociada una velocidad de reacción; al analizar el proceso completo hay que tomar en cuenta estas dos variables. Sin embargo, al analizar el proceso en forma global, se visualiza el sistema como un reactor único en el que ocurre la reacción de conversión. En consecuencia, los balances globales tendrán asociada únicamente una velocidad de reacción.

Análisis de los grados de libertad:

	Reactor 1	Reactor 2	Global	Sistema
Variables independientes	11 + 1	9 + 1	10 + 1	15 + 2
Ecuaciones de balance	5	5	5	10
Composiciones	3	-	3	3
Flujos	-	-	-	-
Relaciones subsidiarias	2	1	2	3
Grados de Libertad	2	4	1	1
Base			-1	-1
Total			0	0

Sigue.....

Continuación de balances de masa con reacción química.....

El proceso está especificado correctamente y la resolución deberá comenzarse haciendo un balance global. Se toma como base 100 mol/h en la corriente 1.

$$\frac{N_{H_2}^5}{N_{N_2}^5} = 3 \qquad N^3 = 2(N^1 + N^2)$$

Balance en N_2 :

$$N_{N_2}^5 = 0,78 * 100 = 78 \text{ mol/h}$$

Balance en CO:

$$0 = 0,20 * 100 + 0,5 N^2 - r$$

Balance en H_2O :

$$N_{H_2O}^5 = N^3 - r$$

Balance en CO_2 :

$$N_{CO_2}^5 = 0,02 * 100 + r$$

Balance en H_2 :

$$N_{H_2}^5 = 0,5 N^2 + r$$

Resolviendo todo este sistema se obtiene:

$$\begin{aligned} N^2 &= 214 \text{ mol/h} & r &= 127 \text{ mol/h} & N^3 &= 628 \text{ mol/h} \\ N_{CO_2}^5 &= 129 \text{ mol/h} & N_{H_2O}^5 &= 501 \text{ mol/h} \end{aligned}$$

Para completar la solución se escoge el reactor 1:

$$r_1 = \frac{X_{CO} N_{CO}^{entra}}{1} = 0,8(0,2 * 100 + 0,5 * 214) = 101,6$$

Con r_1 conocido, los flujos másicos de cada compuesto en la corriente 4 pueden ser determinados por medio de las ecuaciones de balance en cada compuesto:

$$N_{N_2}^4 = 0,78 * 100 = 78 \text{ mol/h}$$

$$N_{CO}^4 = 127 - r = 25,4 \text{ mol/h}$$

Sigue.....

Continuación de balances de masa con reacción química.....

$$N_{\text{H}_2\text{O}}^4 = 628 - 101,6 = 526,4 \text{ mol/h}$$

$$N_{\text{CO}_2}^4 = 2 + r = 103,6 \text{ mol/h}$$

$$N_{\text{H}_2}^4 = 107 + r = 208,6 \text{ mol/h}$$

Nótese que si se hace un balance en el reactor 2, se obtendrá $r_2 = 25,4$ mol/h. Por lo tanto, la tasa obtenida en el balance global es la suma de las tasas de reacción obtenidas en cada reactor.

Tema 2**Balances por componente con reacciones químicas múltiples**

Cada vez que ocurre una reacción dentro de un sistema, por definición se concluye que cualquier componente químico, o se consume debido a la reacción, o se produce por ella. Cuando se presentan reacciones múltiples simultáneas, un determinado componente puede producirse por algunas de las reacciones pero consumirse por otras. Entonces, para calcular la velocidad global de producción de cualquier sustancia, será necesario determinar las velocidades individuales de producción de dicha sustancia para cada una de las reacciones y, después, sumarlas para obtener la velocidad neta.

$$R_s = N_s^{\text{Sale}} - N_s^{\text{Entra}}$$

$$N_s^{\text{Sale}} = N_s^{\text{Entra}} + R_s = N_s^{\text{Entra}} + R_s' + R_s''$$

Si queremos expresar los balances de masa en términos de velocidades de reacción. Dado un sistema con S componentes y R reacciones, el coeficiente estequiométrico de la sustancia s en la reacción r se indicará mediante σ_{sr} . Usando esta notación, por analogía con la definición previa de velocidad de reacción:

$$r_r = \frac{R_{sr}}{\sigma_{sr}}$$

en donde R_{sr} es la velocidad de producción de la sustancia s por la reacción r.

A partir de esto está claro que la velocidad neta de producción de la sustancia s por las R reacciones químicas estará dada por la suma:

$$R_s = \sum_{r=1}^R R_{sr} = \sum_{r=1}^R \sigma_{sr} r_r$$

Sigue.....

Selectividad

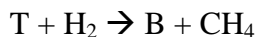
Si teníamos un sistema con una reacción química y definíamos la conversión, sabíamos exactamente qué era lo que estaba ocurriendo en el sistema. Cuando tengamos múltiples reacciones, definiremos el término de selectividad para determinar qué porcentaje de un compuesto s está reaccionando en una reacción r determinada.

La selectividad generalmente se define para el reactante limitante y, si se toma en cuenta que en cualquier proceso generalmente hay una reacción principal (la cual tratamos de favorecer) y otras reacciones subsidiarias, definiremos la selectividad de la siguiente manera:

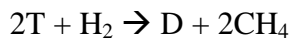
Es el porcentaje de reactante que reacciona en la reacción principal, tomando como base la cantidad de reactante que reaccionó en el proceso.

Ejemplo:

En el diagrama de flujo anexo se muestra el proceso utilizado para la obtención de benceno (B) a partir de tolueno (T) por medio de la siguiente reacción:



En el proceso se produce una reacción colateral, en la cual parte del tolueno se convierte en difenil (D).



Sabiendo que:

La alimentación fresca de tolueno es de 15000 Kg/h.

La alimentación de H_2 al reactor tiene 50% en exceso con respecto a la alimentación de tolueno al reactor.

La conversión en el reactor es del 75%.

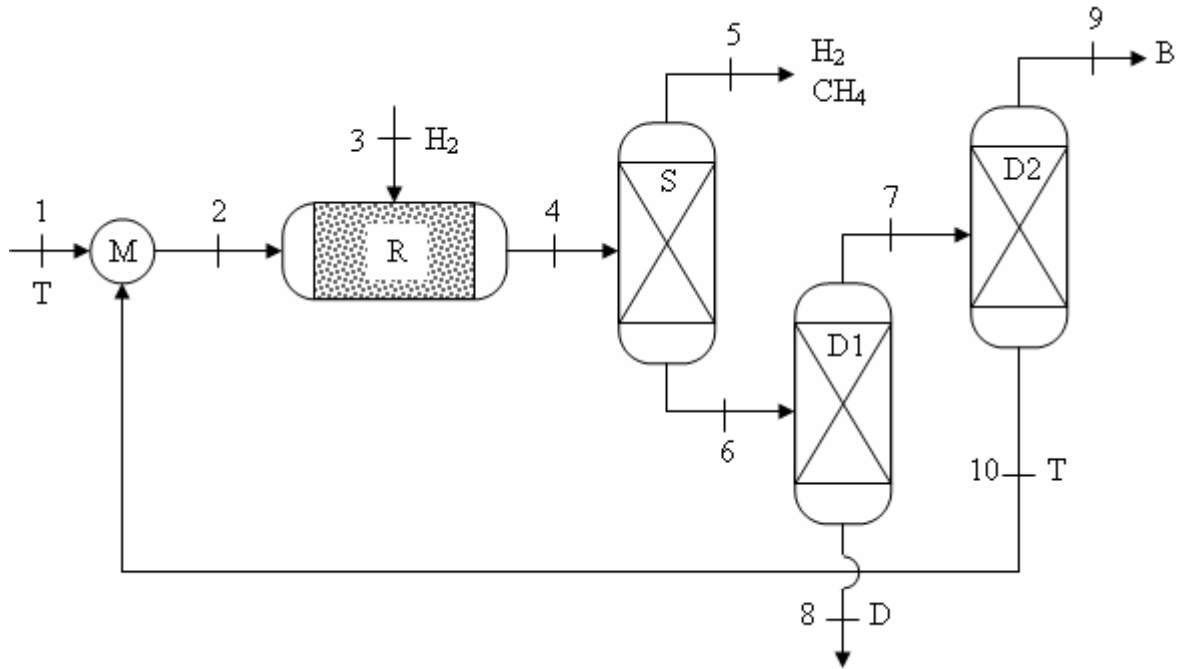
La selectividad en el reactor es de 87%.

Sigue.....

Continuación de balances por componente con reacciones químicas múltiples.....

Especifique todas las corrientes del proceso.

Datos: $M_T = 92,13$; $M_B = 78,11$; $M_D = 59,22$; $M_{CH_4} = 16,04$



Vamos a comenzar por hacer el análisis de los grados de libertad.

	M	R	S	D1	D2	Global	Sistema
Variables independientes	3	7 + 2	10	6	4	6 + 2	18 + 2
Ecuaciones de balance	1	5	5	3	2	5	16
Composiciones	-	-	-	-	-	-	-
Flujos	1	-	-	-	-	1	1
Relaciones subsidiarias	-	3	-	-	-	-	3
Grados de Libertad	1	1	5	3	2	2	0

Del análisis de los grados de libertad, podemos concluir que el sistema está bien especificado y, por lo tanto, puede resolverse. Sin embargo, en ninguna de las unidades del sistema los grados de libertad se hacen iguales

Sigue.....

Continuación de balances por componente con reacciones químicas múltiples.....

a cero; en este caso, podemos olvidarnos del flujo de entrada al sistema; suponemos una base de cálculo en una de las corrientes del reactor, resolvemos el reactor, después S, D1, D2 y M. Al resolver M obtenemos un nuevo valor para el flujo en 1. Como ya conocemos el verdadero valor de N^1 , podemos hacer el cambio de base.

Base de cálculo: $N^2 = 100 \text{ kmol/h}$

De la reacción principal, se observa que por cada kmol de T se requiere un kmol de H_2 , por lo tanto, entrarán 150 kmol/h de H_2 .

De los 100 kmol de T que entran al reactor, reaccionan el 75%, es decir, reaccionan 75 kmol/h. De esta cantidad que reacciona, el 87% lo hace en la reacción principal y el resto en la reacción secundaria.

Del reactor salen: $100 - 75 = 25 \text{ kmol/h}$ de tolueno.

$0,87 * 75 = 65,25 \text{ kmol/h}$ de benceno.

A continuación vamos a hacer balances de masa en cada uno de los compuestos del reactor:

$$\text{Balance en T: } N_T^4 = 100 + (-1) r_1 + (-2) r_2$$

$$\text{Balance en } H_2: N_{H_2}^4 = 150 + (-1) r_1 + (-1) r_2$$

$$\text{Balance en B: } N_B^4 = 0 + (1) r_1 = 65,25$$

$$\text{Balance en } CH_4: N_{CH_4}^4 = 0 + (1) r_1 + (2) r_2$$

$$\text{Balance en D: } N_D^4 = 0 + (1) r_2$$

$$r_1 = 65,25 \text{ kmol/h} \quad r_2 = \frac{100 - 65,25 - 25}{2} = 4,87 \text{ kmol/h}$$

$$N_T^4 = N_T^6 = N_T^7 = N^{10} = 25 \text{ kmol/h}$$

$$N_{H_2}^4 = N_{H_2}^5 = 80 \text{ kmol/h}$$

$$N_B^4 = N_B^6 = N_B^7 = N^9 = 65,25 \text{ kmol/h}$$

$$N_{CH_4}^4 = N_{CH_4}^5 = 75 \text{ kmol/h}$$

$$N_D^4 = N_D^6 = N^8 = 4,87 \text{ kmol/h}$$

Sigue.....

Continuación de balances por componente con reacciones químicas múltiples.....

Haciendo el balance en el mezclador:

$$N^1 + N^{10} = N^2 \quad N^1 = 100 - 25 = 75 \text{ kmol/h}$$

Pero en realidad por 1 entran $15000 / 92,13 = 162,8$ kmol/h, por lo tanto, hay que multiplicar todos los flujos por $162,8 / 75 = 2,17$

Autoevaluación:

1. ¿Cuál es la diferencia entre conversión global y por paso? ¿Cuál es mayor?
2. ¿Cómo se define la selectividad del proceso y la del reactor? ¿Son diferentes?
3. ¿Cómo se define el exceso?
4. ¿Sobre qué componente se define el exceso?
5. ¿Es posible que habiendo exceso la conversión sea menor del 100%? En caso afirmativo, explique la razón.

REFERENCIAS

Felder, R. y R. Rousseau, Principios Elementales de los Procesos Químicos, 2da. Edición, Addison-Wesley Iberoamericana, Delaware, 1991.

Himmelblau, D., Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, Prentice-Hall International Series, London, 1989.

Hougen, O., Watson, K. y R. Ragatz, Principios de los Procesos Químicos, Tomo I: Balances de Materia y Energía. Editorial Reverté, S.A., Barcelona, 1982.

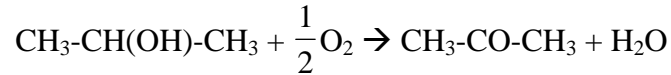
Perry, R. y D. Green, Perry's Chemical Engineer's Handbook, 6th. Ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1984.

Reklaitis, G., Balances de Materia y Energía, McGraw-Hill, México, 1989.

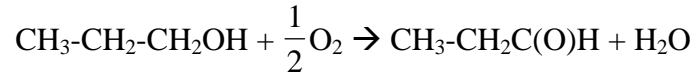
Whitweel, J. y R. Toner, Conservation of Mass and Energy, McGraw-Hill Kogakusha, LTD., Tokyo, 1969.

EJERCICIOS PROPUESTOS

1. Se desea producir acetona a partir de alcohol isopropílico por oxidación directa con oxígeno puro mediante la reacción:



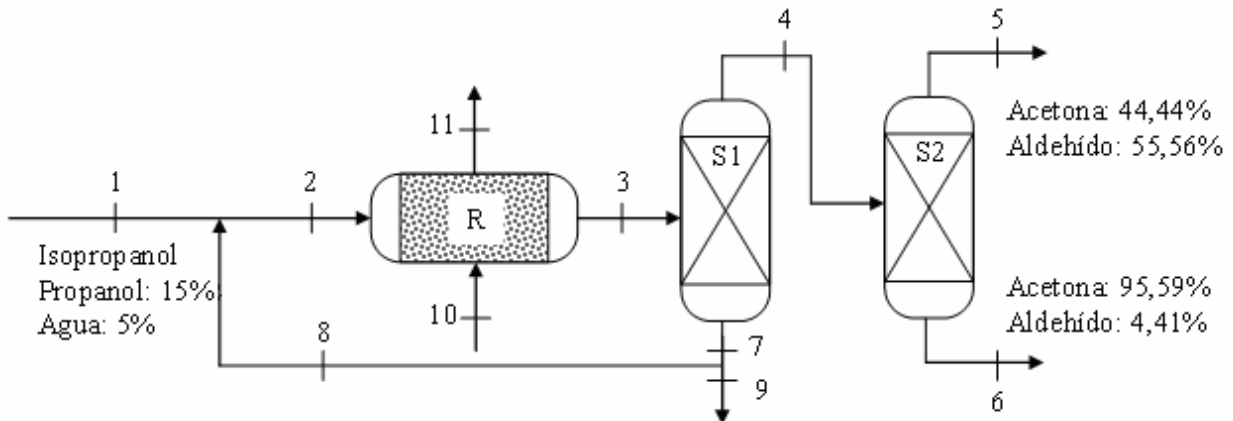
Como la alimentación fresca consiste en una mezcla de 80% de isopropanol, 15% de propanol normal y 5% de agua, se produce la reacción colateral de formación del aldehído correspondiente:



En el separador S1 se separan como producto de tope, la acetona y el aldehído producidos, y como productos de fondo, los alcoholes que no reaccionaron y el agua. La alimentación al reactor no debe tener más de 50% de agua, por lo que es necesario purgar en la corriente 9 parte del alcohol no consumido. La corriente 9 tiene 7% de isopropanol, 2% de propanol y 91% de agua. En el separador S2, se obtienen productos de la composición indicada en la figura. En el reactor se suministra 40% de oxígeno en exceso.

Determinar:

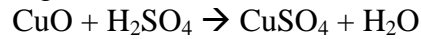
- Conversión global y por paso del isopropanol.
- Conversión global y por paso del propanol.
- Moles de acetona en la corriente 6.
- Relación de reciclo a la alimentación fresca.
- Moles de oxígeno que deben ser suministrados por cada 100 moles de alimentación fresca, y los moles de oxígeno que salen del reactor.



Sigue.....

Continuación de ejercicios.....

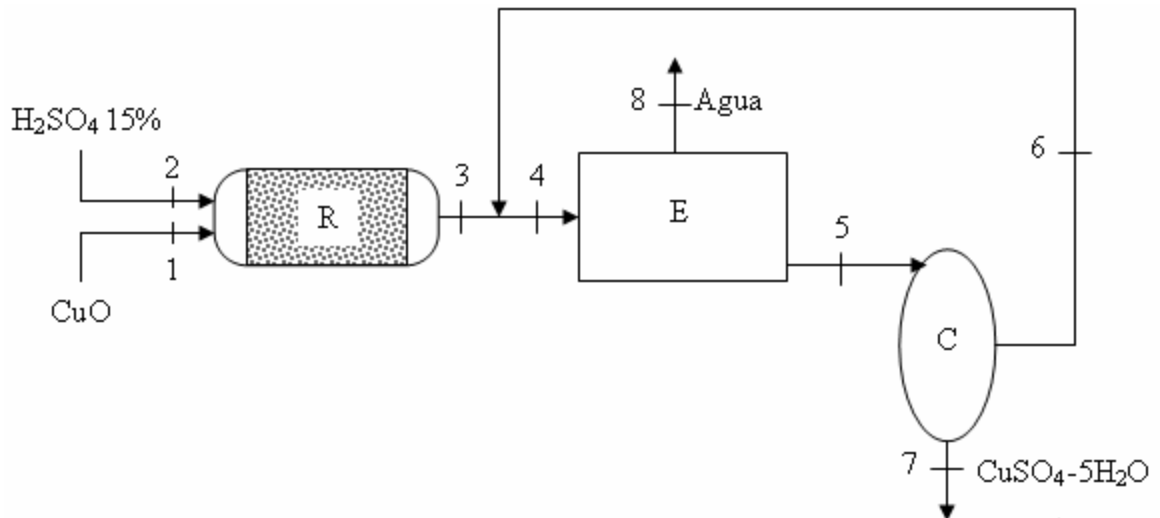
2. En el esquema adjunto se muestra un diagrama de flujo del proceso para producir sulfato cúprico a partir de una solución de ácido sulfúrico según la reacción:



Se procesan 125 kg/h de óxido junto con una solución al 15% en peso (en proporción estequiométrica) de ácido sulfúrico en el reactor. El exceso de agua se evapora en E y en el cristizador C se obtiene $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

La concentración (solubilidad) de la solución saturada de la corriente 6 es de 22 g de CuSO_4 por cada 100 g de agua. La concentración de la solución que llega al cristizador es de 30% en peso. Determinar:

- Cantidad de solución necesaria para la corriente 2 (kg/h)
- Producción de $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (kg/h)
- Cantidad de agua evaporada (kg/h)
- Masa de la corriente de reciclo (kg/h)
- Concentración en peso de la solución que alimenta a evaporador



3. En la figura se muestra un diagrama para la producción de éter etílico a partir de alcohol etílico usando ácido sulfúrico como catalizador. La alimentación del sistema consiste en una solución al 95% en peso a razón de 2000 Kg/día. Se produce una reacción colateral con la formación del etileno. Todos los porcentajes están en peso y todas las soluciones son acuosas.

Determine:

- Masa de la corriente 4: _____ kg/día.
- Concentración en peso de la corriente 5: _____ %
- Masa de la corriente 7: _____ kg/día

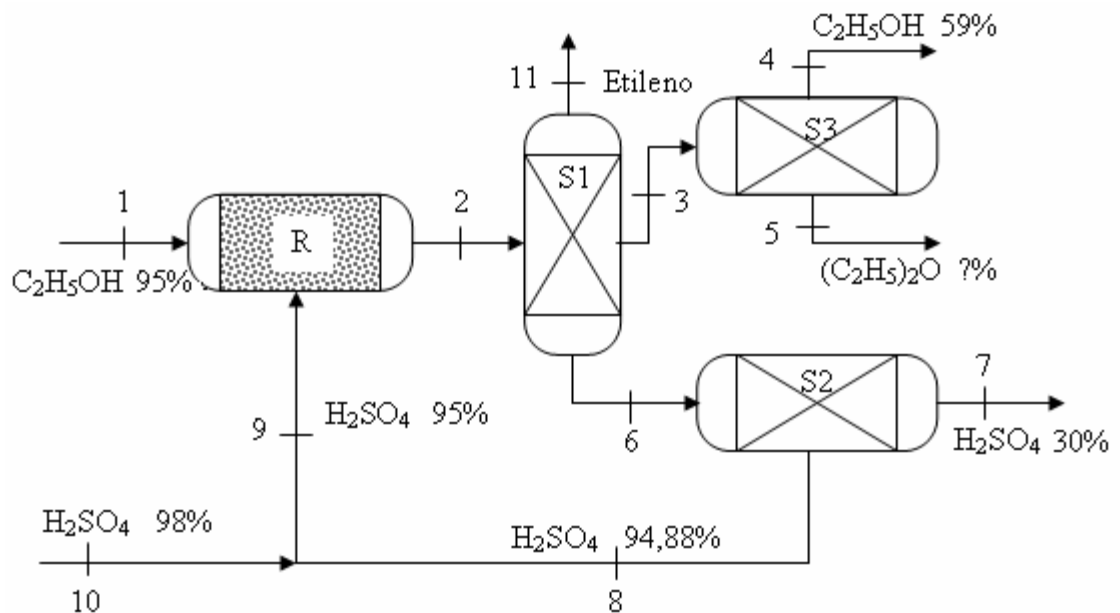
Sigue.....

Continuación de ejercicios.....

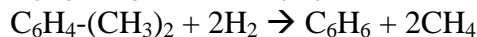
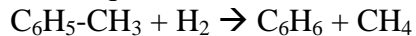
- Masa de la corriente de reposición 10: _____ kg/día
- Kilomoles de etileno en la corriente 11: _____ kmol/día

NOTA: En el reactor debe haber 1,2 moles de ácido por mol de alcohol con el objeto de separar la mayor cantidad de agua posible.

- DATOS:
- Conversión del alcohol: 97%
 - Selectividad del proceso: 85%
- $$2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow (\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$$
- $$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O}$$



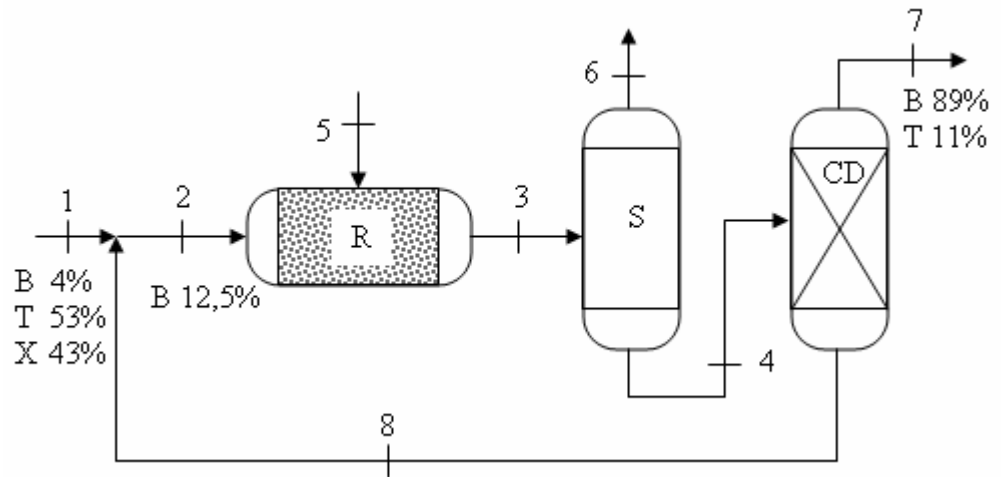
4. En el sistema mostrado en la figura, la alimentación fresca consta de 100 lbmol de benceno, tolueno, xileno en la composición indicada. Se utiliza como reactante un 30% de exceso de hidrógeno, el cual convierte los derivados de benceno en benceno mediante las reacciones de hidroalquilación descritas a continuación:



La conversión por paso del tolueno es de 58% y la del xileno 63%. La cantidad de benceno en la alimentación del reactor alcanza el 12,5%. La corriente 7 contiene solo tolueno y benceno en la proporción indicada en la figura. Todas las composiciones están dadas en base molar. Determine:

- Composición de la corriente 6: CH_4 : _____ %; H_2 : _____ %
- Composición de la corriente 8: Benceno: _____ %; Tolueno: _____ %; Xileno: _____ %
- kg de hidrógeno en 5: _____ kg

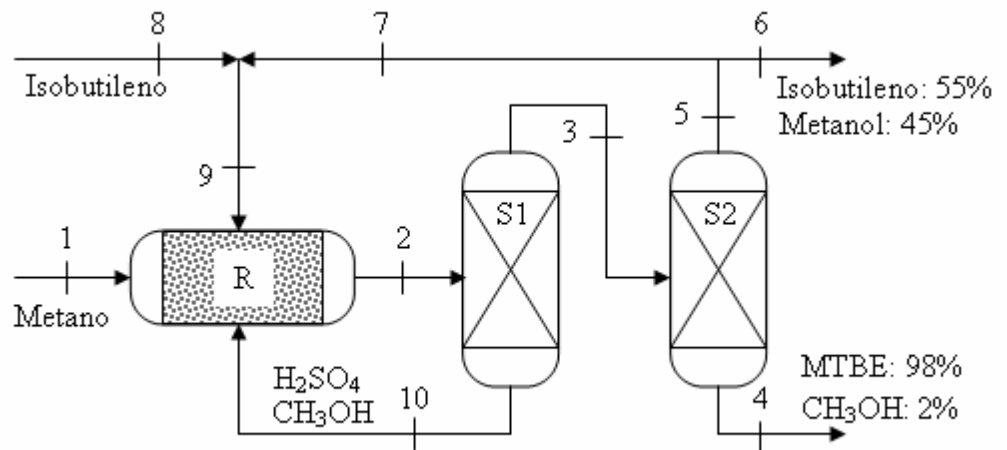
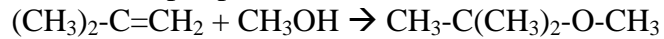
Sigue.....



5. En la figura se muestra un esquema para producir éter metil terbutil (MTBE) a partir del isobutileno y el metanol en proporciones estequiométricas en la alimentación fresca, usando como catalizador ácido sulfúrico. La corriente 10 debe llevar 5 moles de ácido sulfúrico por mol de etanol, y la cantidad de ácido a emplear es 2 moles de ácido por mol de alimentación fresca. En el reactor, las cantidades de isobutileno y metanol deben ser también estequiométricas. Determine:

a) Conversión global del sistema.

b) Conversión por paso

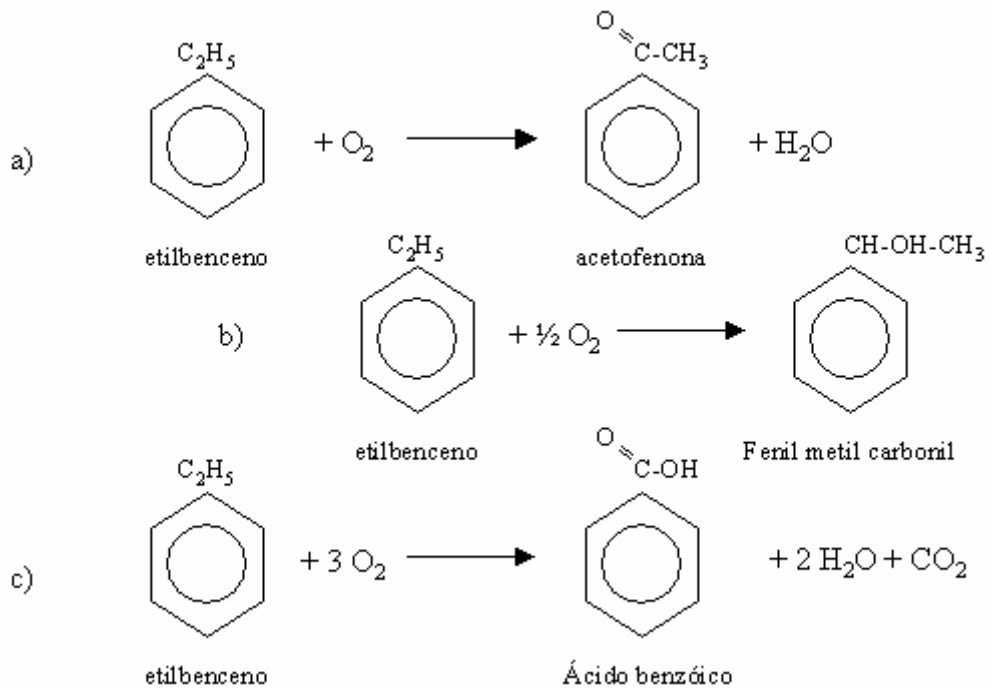
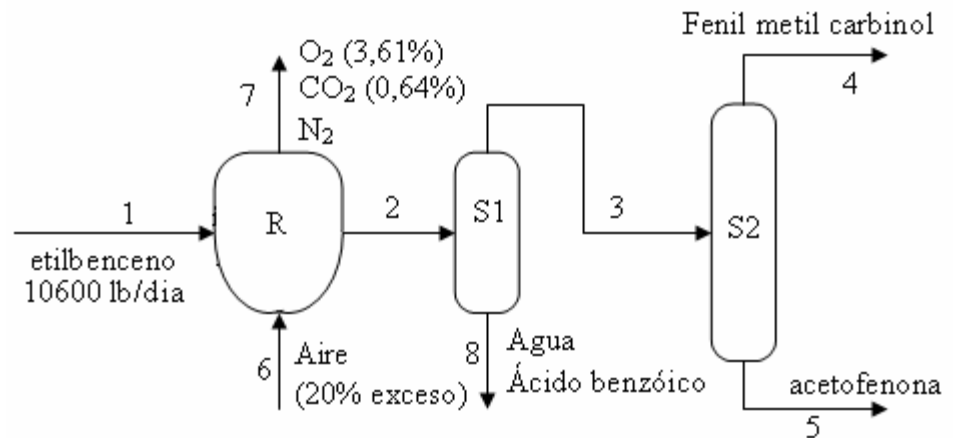


Sigue.....

Continuación de ejercicios.....

6. Se desea producir acetofenona a partir de etilbenceno por oxidación directa con oxígeno del aire. A tal efecto, se alimentan al reactor R 10600 lb por día de etilbenceno puro, junto con el aire en exceso (de 20%). Se producen dos reacciones colaterales no deseadas. La selectividad del proceso es de 91%. El análisis Orsat de los gases que salen del reactor es el indicado en la figura. La humedad de los gases es 1,06 moles de agua por 100 moles de gas seco. Determine:

- lbmol de acetofenona producidas por día.
- lbmol de fenil metil carbinol por día.
- % en peso de la solución en la corriente 8.



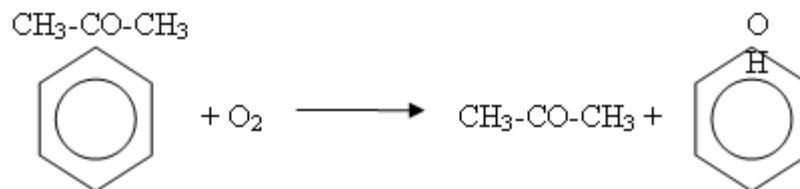
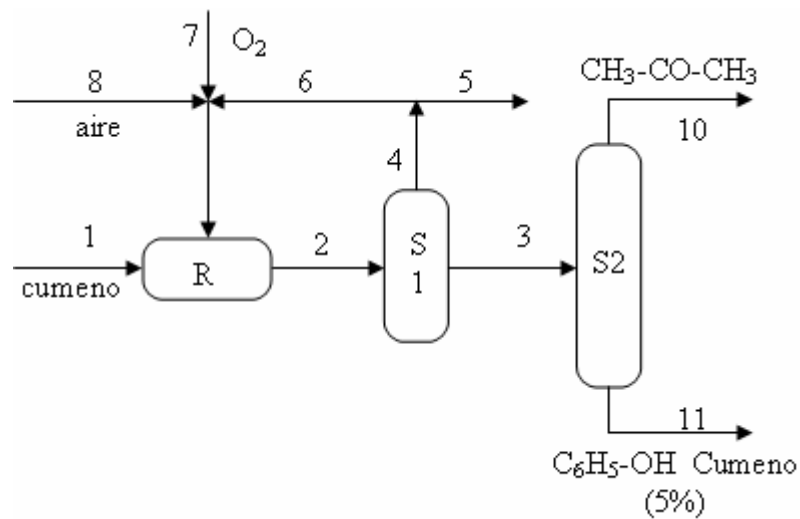
Sigue.....

Continuación de ejercicios.....

7. En la figura, se muestra un diagrama simplificado de la producción de fenol a partir de cumeno por oxidación en fase líquida. La oxidación se lleva a cabo en el reactor R por acción directa del aire. El aire se suministra con la corriente 8, donde se mezcla la corriente de reciclo 6, con una corriente de oxígeno puro 7, que tiene como función mantener en el reactor una concentración de 50% de O_2 . En R el oxígeno debe estar en un 80% de exceso a fin de que se logre la mayor conversión posible de cumeno en fenol. En el separador S1 se separan en 4 los no condensables (oxígeno y nitrógeno), los cuales son parcialmente purgados en la corriente 5 y parcialmente reciclados en la corriente 6. La acetona, el fenol y el cumeno que no reaccionan son separados en el reactor S2, donde se obtiene como corriente de tope, acetona pura y como corriente de fondo, una mezcla de fenol y cumeno que tiene 5% en peso de este último. Determine, por cada 100 moles de cumeno en la alimentación fresca:

- Moles de acetona en 10.
- Moles de fenol y cumeno en 11
- Conversión del cumeno (%).
- Moles de O_2 en 7
- Composición de la purga de O_2 y N_2 (%).
- Relación de purga a reciclo.

NOTA: La cantidad de oxígeno en exceso en el sistema es de 20%.



Sigue.....

Continuación de ejercicios.....

8. En el diagrama se muestra un proceso para la obtención de dicloropropano a partir de cloro y propano, mediante la reacción:

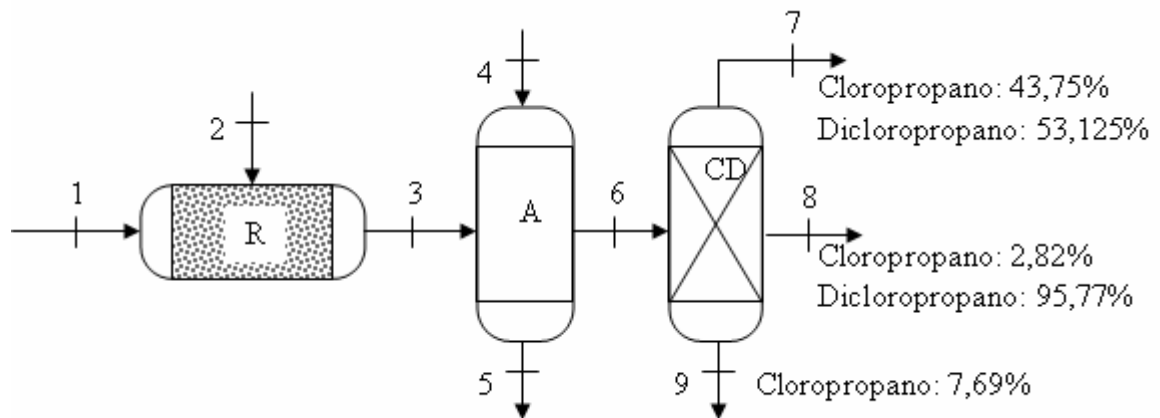


para lo cual se suministran en la corriente (1) 100 moles de propano y en la corriente (2) un exceso de 5% de cloro. Se producen dos reacciones colaterales:



El propano se convierte totalmente en el reactor, donde la selectividad del proceso es de 85%. En la corriente (4) se suministra agua a razón de un litro de agua por mol de propano en la alimentación fresca, la cual absorbe en A todo el cloro sobrante y el HCl producido. El 80% del dicloropropano producido sale en la corriente (8) y, el resto, sale en partes iguales en las corrientes (7) y (9). Determine:

- Composición en peso de la corriente (5) (%)
- Flujo de todos los compuestos en cada una de las corrientes.



9. En el esquema se representa un sistema para obtener éter etílico a partir de alcohol etílico. La alimentación al sistema consta de una corriente de 2000 libras por hora de una solución de alcohol (85% en peso), la corriente que sale del reactor pasa al separador S1 en donde es totalmente separado el éter en la corriente de tope; la corriente de fondo se somete nuevamente a destilación, de forma tal que en su corriente de fondo se obtiene una solución de alcohol al 1% en peso y en su corriente de tope una solución de igual concentración que la alimentación. Determine:

- a) Conversión global: _____%
- b) Conversión por paso: _____%
- c) Masa de éter obtenido: _____ kg/h.
- d) Composición de la corriente (2): Alcohol: _____%

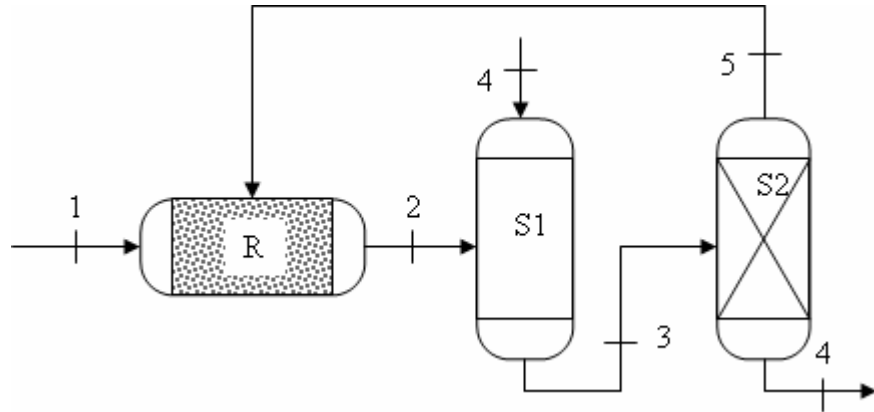
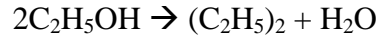
Sigue.....

Continuación de ejercicios.....

Eter: _____%

Agua: _____%

NOTA: La corriente de reciclo es la mitad de la alimentación fresca.



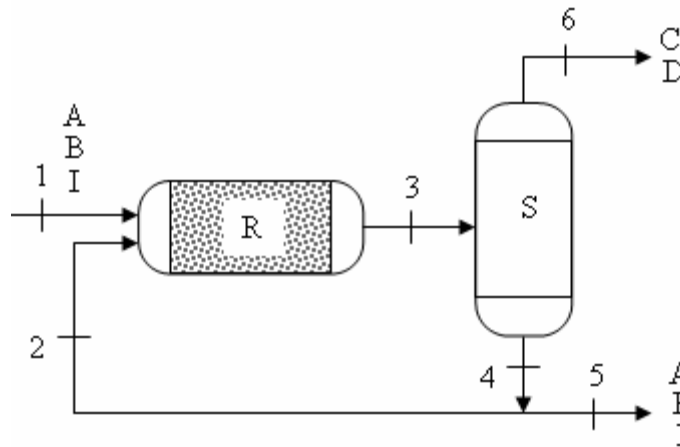
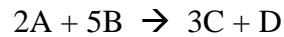
10. Se tiene el proceso mostrado en la figura donde:

Conversión global: 95% Conversión por paso: 60%

Exceso de A en la alimentación fresca: 30%

Concentración de inertes en la alimentación fresca: 24%.

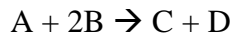
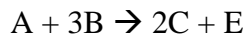
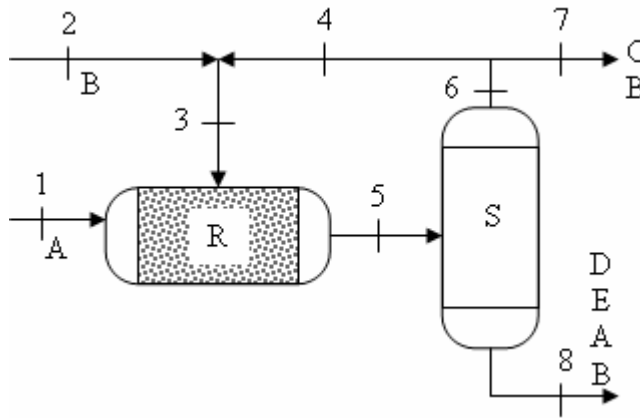
Determine los flujos y las composiciones de todas las corrientes si se producen 100 mol/h de C. Las composiciones son molares.



Sigue.....

Continuación de ejercicios.....

11. Para producir el compuesto E se utiliza el siguiente proceso:



Considere los siguientes datos:

Alimentación de A: 100 mol/h

Exceso de B: 10%

Conversión global: 90%

Selectividad: 77,77%

Composición de C en la corriente de purga (7): 74,07%

Composición de C a la entrada del reactor (3): 33,33%

Se le pide:

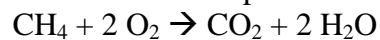
Determinar los grados de libertad del proceso.

Determine las composiciones molares de cada especie y los flujos molares de cada corriente.

12. En la figura, se muestra un esquema de la producción de cal a partir de caliza. El proceso utiliza 1 TM por hora, la cual tiene una composición en peso de 85% de CaCO_3 , 8,4% de MgCO_3 y el resto de SiO_2 . La cal se produce mediante la descomposición de los carbonatos, según las reacciones:



Como la reacción es endotérmica, se requiere suministrar energía, la cual se obtiene de la combustión completa del metano:



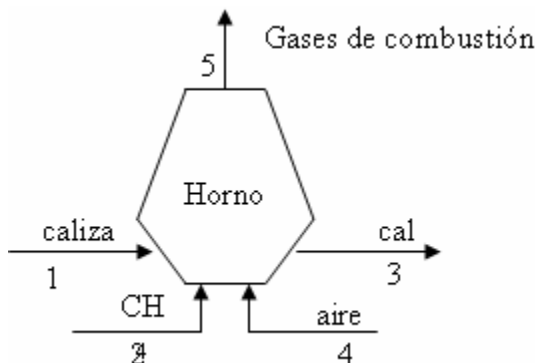
Determine:

- Composición de cal producida.
- Los moles de metano por kg de caliza que se utilizan.
- El análisis Orsat sabiendo que el % de CO_2 es 17,1.
- El exceso de aire.

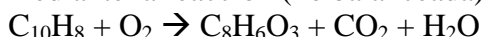
Sigue.....

Continuación de ejercicios.....

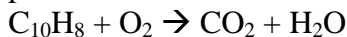
La humedad molar relativa de los gases de combustión es 0,177 mol H₂O/mol gas seco.



13. El anhídrido ftálico se obtiene por la oxidación del naftaleno, mediante la reacción (no balanceada):



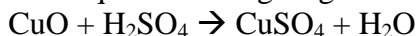
pudiendo ocurrir la reacción colateral de combustión completa:



Si la conversión del naftaleno con 120% de oxígeno en exceso es de 90%, y la selectividad del proceso es de 75%, determine:

- La composición de los productos (anhídrido + naftaleno que no reaccionó)
- La composición de los gases de salida en base seca.

14. Para preparar sulfato cúprico hidratado (CuSO₄·5H₂O) se utiliza un mineral compuesto por óxido cúprico y cobre, cuya composición es: Cu: 81% y CuO: 19%. Este mineral se trata con una solución de H₂SO₄ al 20% en peso de manera tal que el óxido cúprico está en un exceso del 5%, para evitar que la sal tenga algún contenido ácido. La reacción es la siguiente:



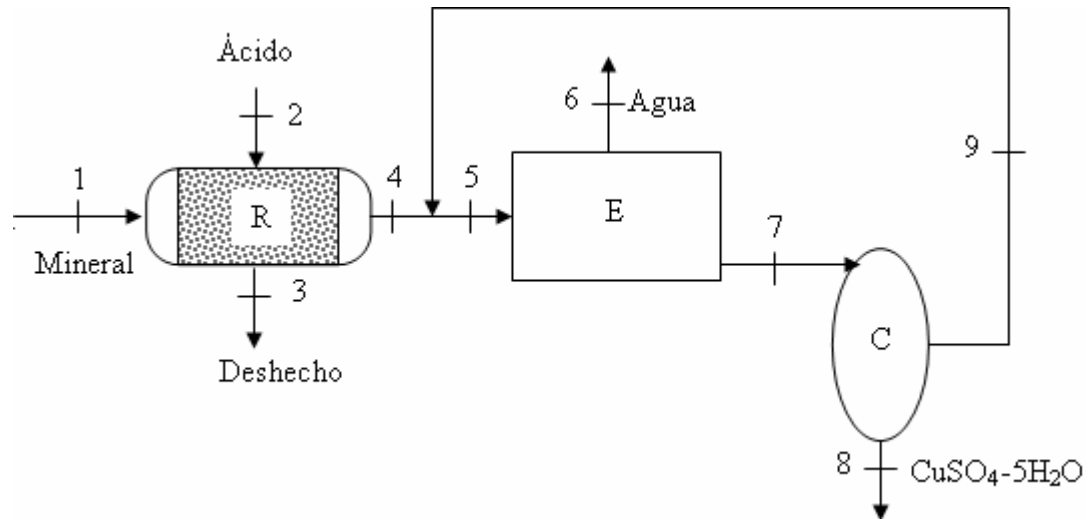
En un proceso (ver figura) se trata 1 TM/día de mineral con ácido en el reactor R, donde se desecha el mineral no tratado, separándolo de la solución de CuSO₄. La solución se somete a evaporación en E, con el objeto de concentrarla hasta el 40% en peso. La solución concentrada es llevada al cristizador C donde, por disminución de la temperatura, se cristaliza el sulfato hidratado de la solución saturada que contiene 50 g de CuSO₄ por cada 100 de agua. Esta solución es reciclada al evaporador.

Sigue.....

Continuación de ejercicios.....

Determine:

- Cantidad de solución de ácido que debe emplearse: _____ Ton/día.
- El agua evaporada en E: _____ kg
- La composición del mineral desechado: Cu _____ %, CuO _____ %.
- Masa de producto obtenida: _____ kg/día de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- Masa de la corriente de reciclo: _____ Ton/día.



15. Se desea obtener dicloroetano por acción directa del cloro con el etano:



para lo cual se usa cloro en exceso (40% de exceso). Por las condiciones de operación no se logra obtener totalmente el compuesto diclorado, llevándose a cabo paralelamente la siguiente reacción:



La conversión de la materia prima (etano) es de 92% y la selectividad del proceso es de 75%. Determine la composición molar de los gases de salida.

16. Un gas tiene la siguiente composición: etano 80%, monóxido de carbono 20%. Al ser quemado en exceso de aire, el análisis Orsat reporta la siguiente composición:

Etano: 0,25%; CO: 3%; CO_2 : 5,49%; N_2 : 81,65%.

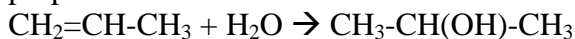
Determine:

- Exceso de aire.
- Humedad de los gases de combustión

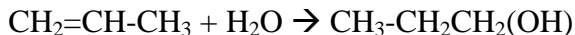
Sigue.....

Continuación de ejercicios.....

17. El alcohol isopropílico se prepara mediante la hidratación de propileno:

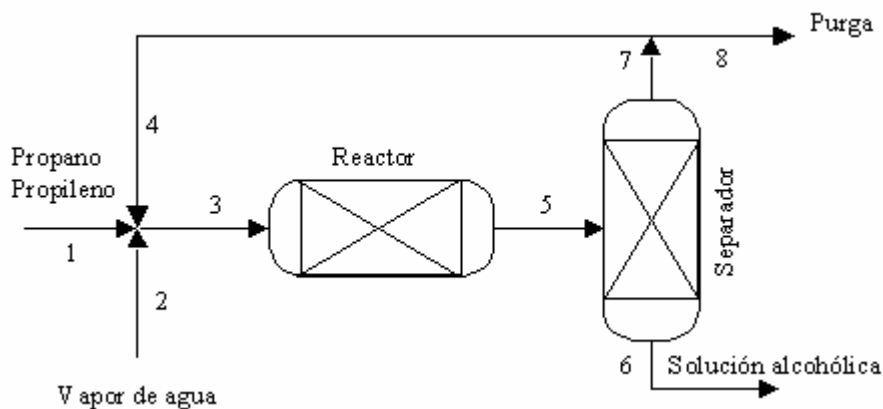


efectuándose además la reacción colateral:



A efectos de producir alcohol isopropílico, se alimenta al sistema una mezcla que contiene 92% de propileno y 8% de propano, junto con vapor de agua. La reacción tiene una selectividad del 95% y una conversión por paso para el propileno de 72%. El vapor de agua y los alcoholes se separan, obteniéndose en el fondo una solución de alcohol en agua y, como tope, una mezcla de propano y propileno, parte de la cual se purga a objeto de que la corriente de alimentación al reactor tenga la siguiente composición: C_3H_8 : 25%, C_3H_6 : 35%, H_2O : 40%. Determine:

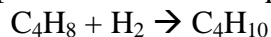
- Exceso de agua.
- La composición de la solución que sale del separador:
Alcohol isopropílico (en peso)
Alcohol propílico (en peso)
- La fracción de los gases del tope del separador que deben purgarse.



18. El isooctano, componente que sirve para regular el octanaje de la gasolina, se obtiene a partir de isobutano e isobutileno según la reacción:



Para producir diez toneladas por hora de isooctano se dispone de una mezcla de isobutileno e isobutano que contiene 80% de isobutileno. Como el isobutano y el isobutileno deben estar en proporción estequiométrica, debe hidrogenarse parte del isobutileno para producir isobutano:



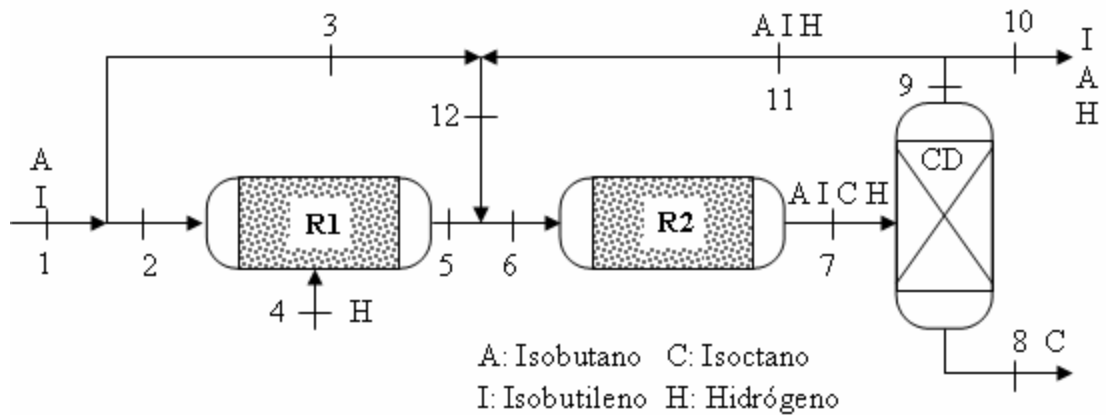
La mezcla de isobutano e isobutileno es tratada parcialmente con un exceso de hidrógeno del 10%, y la reacción se completa en un 90%. Los gases de salida del reactor 1 pasan a un segundo reactor en el cual se produce

Sigue.....

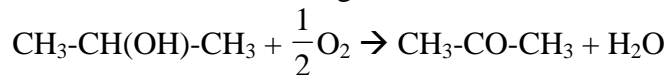
Continuación de ejercicios.....

isooctano con una conversión por paso del 75%. Para que las fases de alimentación de este reactor no tengan más de un 18% de hidrógeno, parte de los gases de reciclo se purgan. Determine:

- La cantidad de mezcla de isobutileno e isobutano requerida por hora.
- La fracción de gases del separador que deben ser purgados.
- La cantidad de hidrógeno requerida.
- El flujo y la composición de todas las corrientes.



19. Se desea obtener acetona a partir de alcohol isopropílico por oxidación directa con oxígeno:

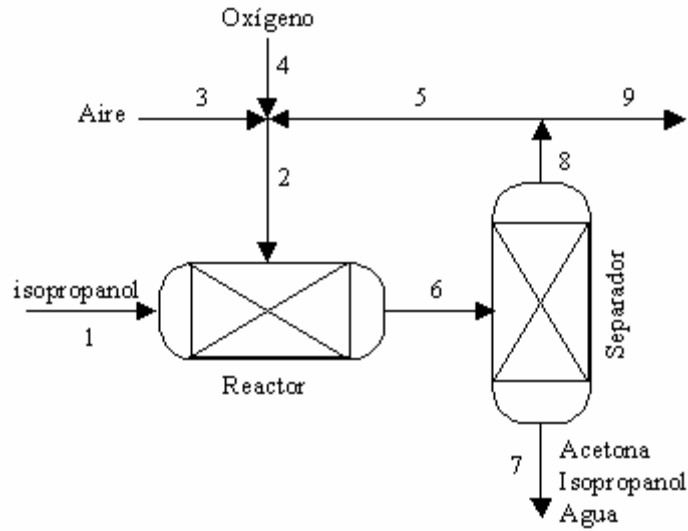


El oxígeno entra al reactor en un exceso de 50% en una composición de 50% después de mezclarse con la corriente de reciclo y con una corriente de aire que tiene por objeto controlar la cantidad de oxígeno. En el separador se separan totalmente los condensables de los no condensables, siendo la composición de acetona en los líquidos de 47% molar. Los gases se purgan parcialmente (20%) con el objeto de que no se acumule nitrógeno en el sistema.

Por cada 100 moles de isopropanol alimentado al sistema determine:

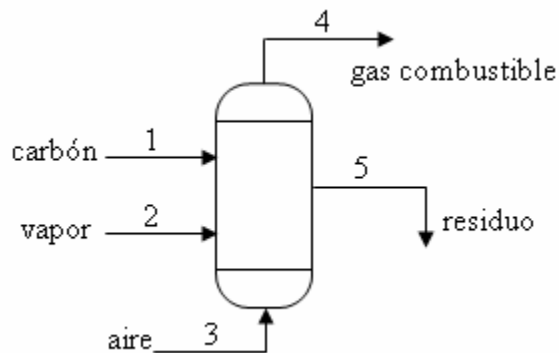
- La relación de la corriente de oxígeno a la del aire.
- La conversión en el reactor.

Sigue.....



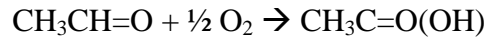
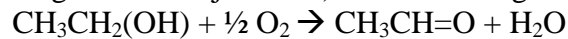
20. Un carbón cuya composición en peso es: 3% ceniza, 1,5% N, 0,6% S y porcentajes desconocidos de C, H y O, es tratado para producir un gas combustible cuya composición molar en base seca es: 23% H_2 , 3,2% CH_4 , 16,2% CO , 12% CO_2 , 1% H_2S y 44,6% N_2 . En el proceso se obtiene un residuo que contiene 10% de carbono y el resto de cenizas (% en peso). Si se utiliza un kilogramo de vapor de agua por kilogramo de carbón alimentado, determine:

- Flujo de aire alimentado.
- Contenido de agua en el gas combustible.



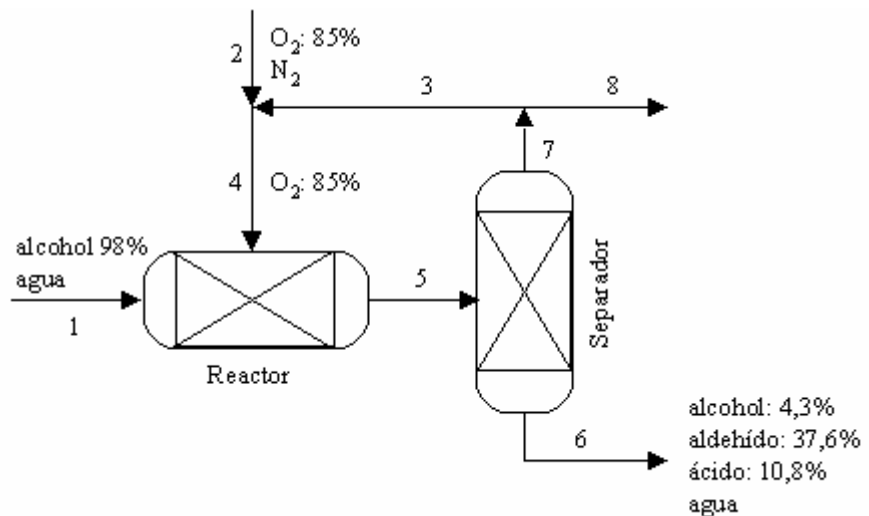
Continuación de ejercicios.....

21. En el proceso para la obtención de aldehído a partir de alcohol (ver diagrama de flujo anexo) ocurren las siguientes reacciones químicas:

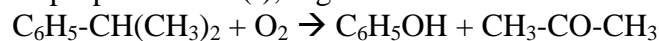


Si los gases que salen del separador tienen una humedad (molar) del 8,9% y una composición en base seca de 86,7% de O_2 , determine:

- Conversión global
- Selectividad del proceso.
- Exceso de oxígeno en la alimentación fresca.
- Relación purga/reciclo.



22. Se desea obtener acetona (A) a partir de la oxidación de isopropilbenceno (I), según la reacción:

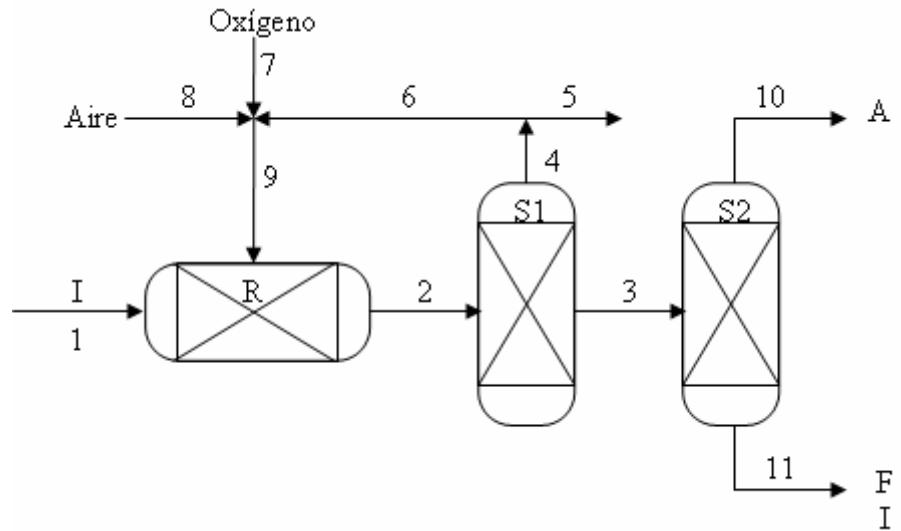


En la figura, se muestra el proceso utilizado, en el cual el oxígeno entra al reactor en una concentración de 50% con un exceso del 80%. La cantidad de oxígeno en exceso en el sistema es de 20%. En el primer separador se separan los no condensables (oxígeno y nitrógeno), los cuales son parcialmente purgados. La acetona, el fenol y el isopropilbenceno que no reacciona son separados en S2, donde se obtiene como corriente de tope acetona pura y como contiene 10% en peso de este último?. Determine, por cada 100 moles de isopropilbenceno en la alimentación fresca:

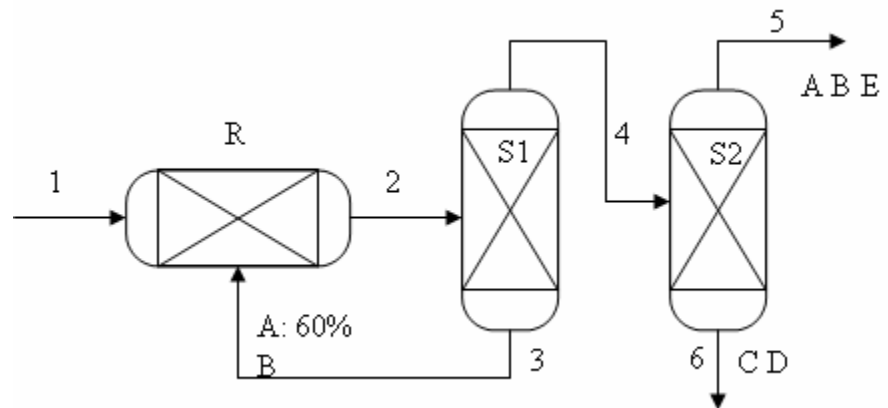
- Corriente 10: _____.
- Corriente 11: F: _____%, I: _____%.
- Conversión del isopropilbenceno: _____%.
- Corriente 7: _____.
- Composición de la purga: O_2 : _____%, N_2 : _____%.
- Relación de purga a reciclo: _____.

Sigue.....

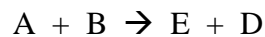
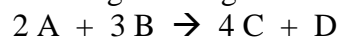
Continuación de ejercicios.....



23. Se desea producir C a partir de A y B, según el siguiente proceso:



En el reactor tienen lugar las siguientes reacciones:



Conversión global: 90%

Selectividad: 80%

Exceso de A en la alimentación fresca (1): 50%

Composición de A en la corriente (3) : 60%

El 80% de la cantidad de B en la corriente 2 es reciclada.

- Calcule la conversión por paso.
- Calcule los flujos y las composiciones de todas las corrientes por cada 100 moles de B en la alimentación fresca.

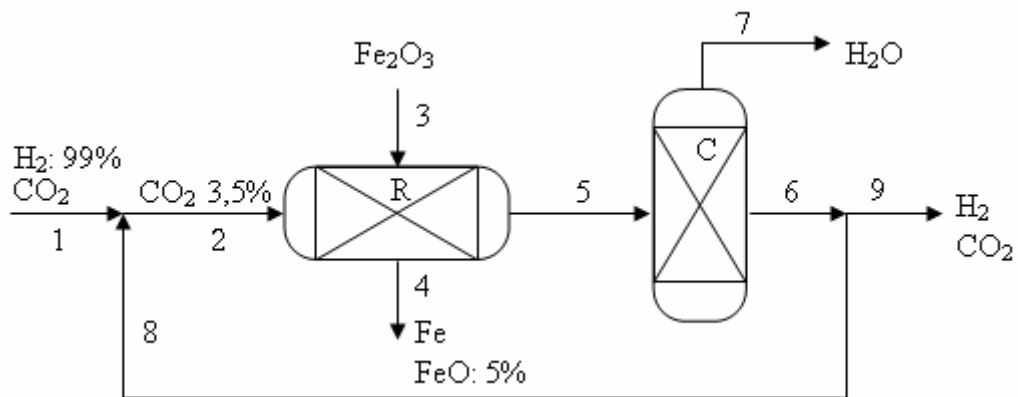
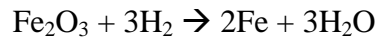
Sigue.....

Continuación de ejercicios.....

24. En la figura se muestra un esquema para la producción de hierro a partir de óxido férrico. 2,5 toneladas de mineral son tratadas por hora, con hidrógeno que se obtiene con 99% de pureza (el resto es CO₂). El agua producida en la reacción es totalmente eliminada en el condensador C. La corriente de reciclo se mantiene en la relación 5:1 respecto de la alimentación fresca. La corriente de alimentación al reactor no debe contener más de 3,5% de CO₂, por lo que es necesario purgar una parte de los gases de reciclo. Determine:

- Fracción de los gases del condensador que deben ser purgados: _____%.
- Cantidad de agua que se condensa: _____kg/h.
- Composición de los gases de purga: CO₂: _____%, H₂: _____%.
- Exceso de hidrógeno en el reactor: _____%.
- Humedad de los gases que llegan al condensador: _____kg agua/kg gas seco.
- Fracción del H₂ que se pierde: _____%.

Reacciones:



25. Se procesan 2400 kg/día de etano junto con cloro para producir dicloro-etano. Paralelamente se producen cloro-etano y tricloro-etano. El cloro entra al sistema con un exceso del 10%. La conversión por paso es de 58% y el proceso tiene una selectividad del 72%. El HCl es eliminado junto con algo del cloro que no reacciona, mediante una corriente de agua que lo absorbe totalmente. La composición de la corriente de salida del separador S1 es de 15,29% HCl, 1,17% de Cloro y el resto de agua. Los reactantes se separan de los productos en el separador S2 y son reciclados

Sigue.....

Continuación de ejercicios.....

26. al reactor. Los productos son separados en el separador S3. La corriente de tope del separador S2 es tal que el cloro y el etano se encuentran en proporción estequiométrica. Determine:

- Cantidad de agua que se emplea (kg/h)
- Cantidad de cada uno de los productos obtenidos en S3 (kg/h)
- Cantidad de cloro y etano en la corriente 4 (kg/h)

