

BALANCES DE MASA Y ENERGÍA

Ingeniería Química

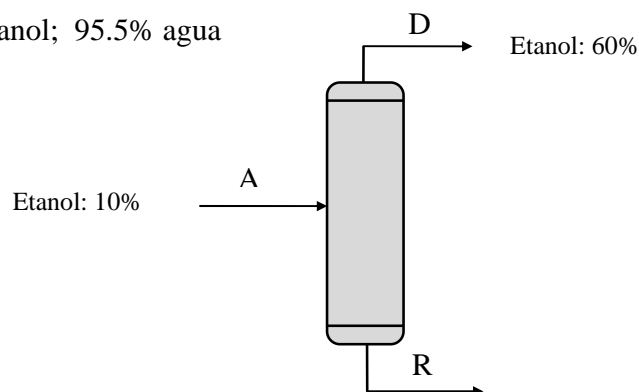
BALANCES DE MASA Y ENERGÍA. ESTADO ESTACIONARIO

Sistemas sin reacciones químicas

Balances de masa

1. Un fabricante de licores tiene un gran número de dificultades en su columna de destilación. La operación se muestra en el diagrama. Ha encontrado que pierde demasiado alcohol por el producto de fondos (desperdicio).
 - a. Analizar los grados de libertad del sistema.
 - b. Calcular la composición de fondos para dicho fabricante. El peso de destilado es 1/10 del de la alimentación

R = b) 4.45% etanol; 95.5% agua

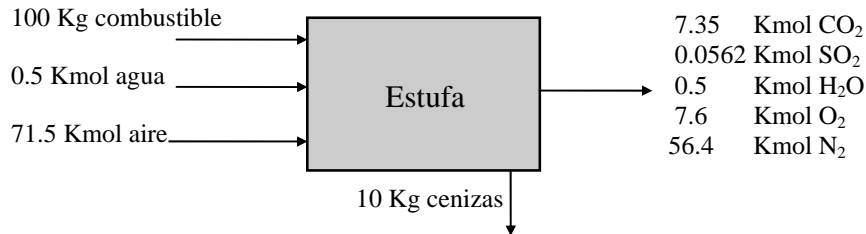


2. 100 Kg de combustible sólido se queman con aire en una estufa. Los productos analizados se resumen en el diagrama de flujo.
 - a) Comprobar los resultados con un balance de masa total.
 - b) Calcular la relación: Kg SO₂ producidos/Kg de combustible alimentado.

Balance de materia y energía

c) Suponiendo que queremos alimentar 1000 lb/h, encontrar el factor de escala y efectuar el diagrama de flujo del proceso en la nueva escala.

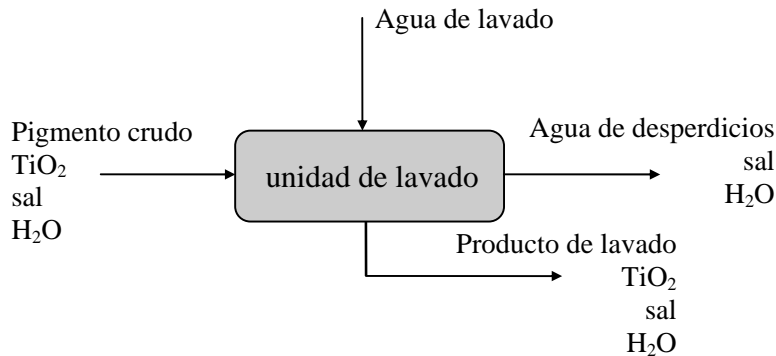
$R =$ b) $0,036 \text{ Kg SO}_2 / \text{Kg comb}$; c) $(10 \text{ lb/h}) / \text{Kg}$



3. Situación A. El dióxido de titanio, TiO_2 , es un pigmento blanco opaco que se fabrica en grandes volúmenes y se utiliza mucho en las industrias del papel y de las pinturas. En una nueva planta de pigmentos, cuya capacidad es de 4000 lb/h de producto TiO_2 seco, se desea purificar de sal una corriente intermedia que consiste de un precipitado de TiO_2 suspendido en una solución acuosa de sal, de manera que el producto final, en base libre de agua, contenga no más de 100 partes por millón (ppm) de sal ($1 \text{ ppm} = \text{fracción masa de } 10^{-6}$). La eliminación de la sal se logrará lavando el precipitado con agua. Si la corriente cruda de pigmento contiene 40% de TiO_2 , 20% de sal y el resto de agua (todos los porcentajes en masa), y si se espera que el pigmento lavado consista de aproximadamente 50% de sólidos de TiO_2 . ¿cuál será la composición de la corriente de desperdicios de agua de lavado?

Resuelva considerando que se utilizará agua de lavado en una proporción de 6 lb de agua /lb de alimentación. La respuesta a esta pregunta es de gran importancia si se va a descargar esta agua de desperdicios a un río cercano.

$R:$ $w = 0,0323$

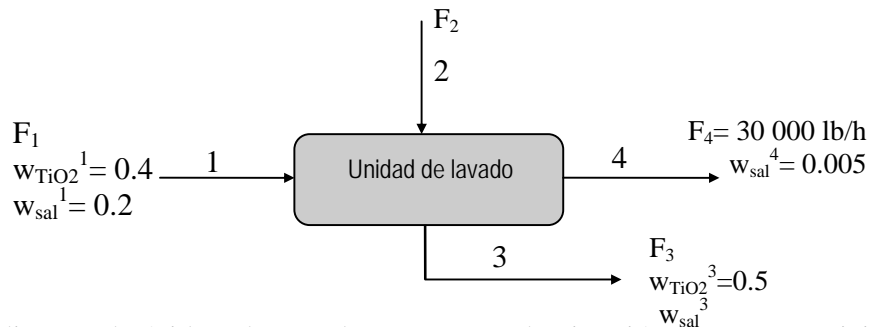


Situación B. Una vez terminado el diseño del sistema de lavado, basado en los cálculos efectuados en el problema anterior, el ingeniero presenta su proyecto a las autoridades locales, solicitando su aprobación para utilizar 60000 lb/h de agua de río, y descargar una corriente de 62000 lb/h de agua que contendrá 3,23% de sal. Las autoridades niegan el permiso, debido a que esa descarga afectaría significativamente

Balance de materia y energía

la potabilidad del agua de río corriente abajo, (límite aceptable para consumo humano de 0,02%). Las autoridades argumentan que el máximo permisible corresponde a una descarga de 30000 lb/h, con un contenido de sal de 0,5%. Reconociendo que debió haber previsto el problema de contaminación, el ingeniero regresa a su diagrama del sistema y anota la nueva información, como lo muestra la figura. Como sigue siendo indispensable cumplir con las especificaciones del producto, que corresponden a una composición de sal en base seca de 0,01% y una producción de 4000 lb/h en base seca.

Cómo queda especificado el problema? Tiene solución?



4. Se dispone de ácido sobrante de un proceso de nitración cuya composición es 23 % de ácido nítrico, 57% de ácido sulfúrico y 20% de agua.

a) Si mezclamos 500 Kg/h de ácido sobrante con 300 Kg/h de ácido sulfúrico concentrado (93% de sulfúrico, 7% de agua), calcule el caudal y la composición de la mezcla resultante.

b) Si queremos concentrar el ácido original, utilizando el mismo sulfúrico concentrado del punto a- y además nítrico concentrado (90% de nítrico, 10% de agua), de forma de obtener 1000 Kg/h de un ácido que contenga: 27% de nítrico, 60% de sulfúrico y 13 % de agua; calcule los caudales de ácido sobrante, sulfúrico concentrado y nítrico concentrado que deben combinarse.

c) Posteriormente y mediante evaporación, se consiguió reducir en un 80 % la cantidad de agua presente en los 1000 Kg/h de ácido preparados. Calcule la composición resultante luego de la evaporación.

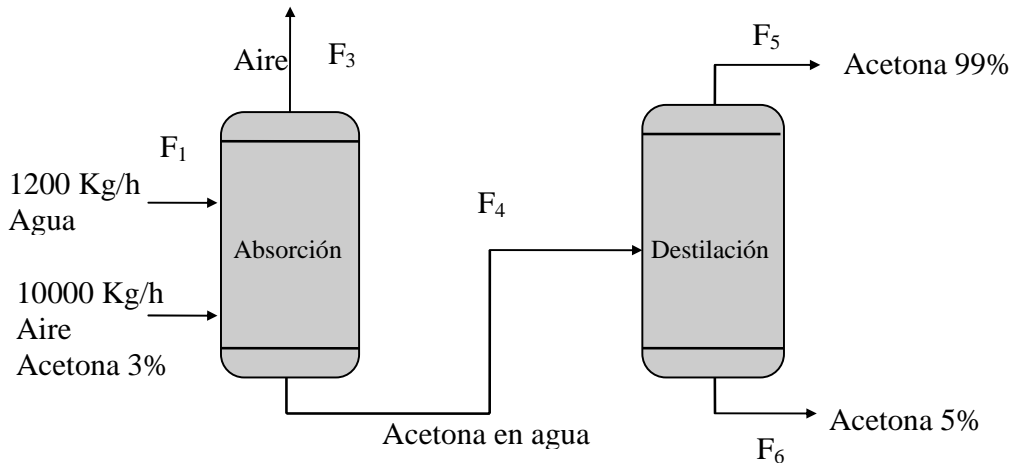
- $R =$
- 800 Kg/h; 0.71 de sulfúrico; 0.14 de nítrico; 0.15 de agua
 - 417 Kg/h de ácido sobrante 389 Kg/h de sulfúrico concentrado
194 Kg/h de nítrico concentrado
 - 0.31 de nítrico; 0.67 de sulfúrico; 0.02 de agua

5. Se le solicita a un ingeniero químico que trabaja en cierta compañía, que establezca un sistema de recuperación de acetona. A partir de la información indicada en el diagrama, se desean conocer los flujos másicos de todas las corrientes, con el

Balance de materia y energía

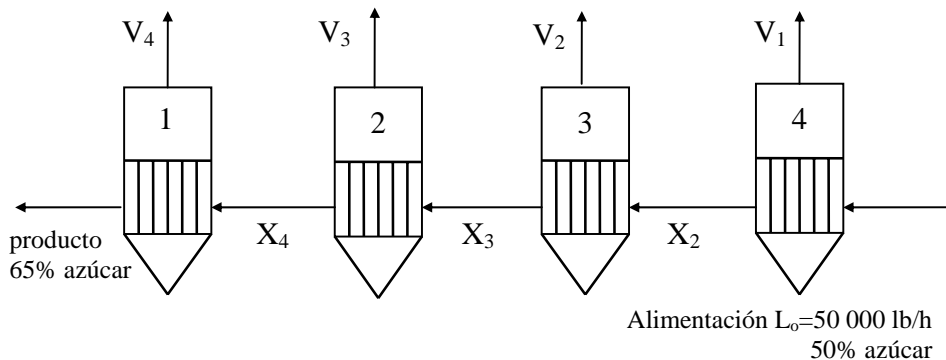
objeto de poder determinar el tamaño del equipo. Se pide calcular además la composición de la carga de alimentación a la columna de destilación.

$$\begin{aligned}
 R = \quad & \text{Aire} = 9700 \text{ Kg/h} & F &= 1260 \text{ Kg/h} \\
 & \text{Acetona en agua} = 1500 \text{ Kg/h} & X &= 20\% \text{ acetona} \\
 & F_d = 239 \text{ Kg/h} & Y &= 80\% \text{ agua}
 \end{aligned}$$



6. Típicamente se usan los evaporadores para concentrar soluciones, eliminando por ebullición algo del solvente. Para economizar en las necesidades de energía, frecuentemente se efectúa la evaporación en etapas; cada etapa proporciona algo de las necesidades de energía. En la evaporación en etapas múltiples que muestra la figura, se concentra una solución de azúcar con 50% en peso hasta 65% en peso, evaporando cantidades iguales de agua en cada una de las cuatro etapas. Para una alimentación de total de 50000 lb/h determine las concentraciones de las corrientes intermedias.

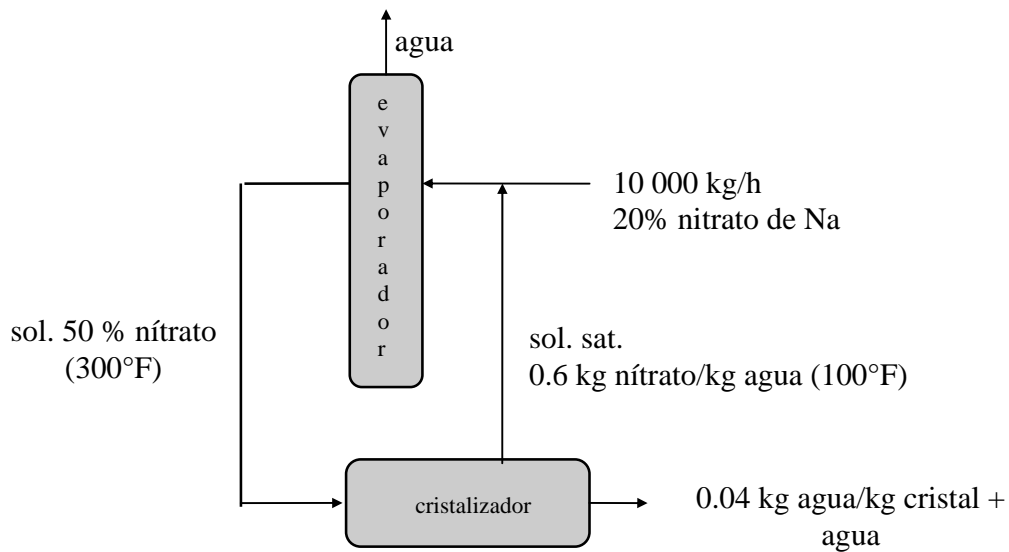
$$R: X_2=0.53; X_3=0.564; X_4=0.603$$



7. En el diagrama se muestran datos de un evaporador. Calcular la corriente de recirculación.

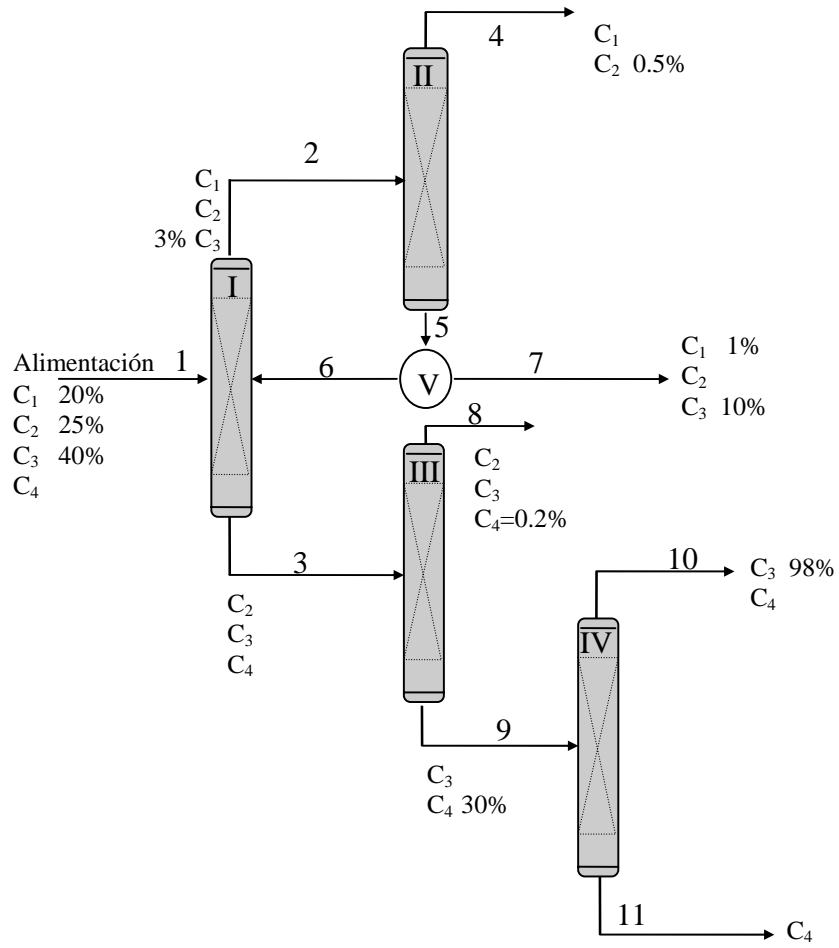
Balance de materia y energía

$$R = 7667 \text{ Kg/h}$$



8. El tren de separación de cuatro unidades que se muestra en la figura ha sido diseñado para separar 1000 moles/h de una alimentación de hidrocarburos que contiene 20% de CH_4 , 25% de C_2H_6 , 40% de C_3H_8 y el resto de C_4H_{10} (todos los porcentajes en moles) en cinco fracciones. Con las composiciones en porcentajes en mol indicadas, calcular los flujos de todas las corrientes en el proceso, suponiendo que la recirculación a la unidad I es 50% de los fondos de la unidad II.

Balace de materia y energíá



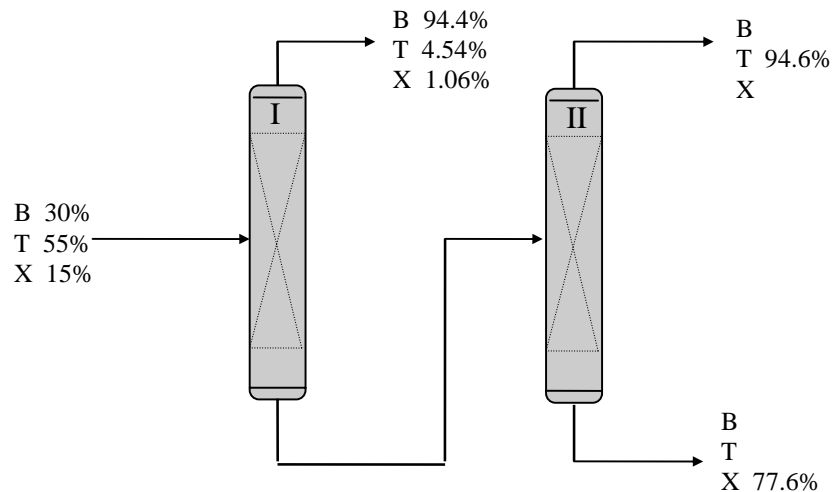
R:

Balance de materia y energía

	Número de corrientes										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Flujo (mol/h x 10 ³)	1	0.286	0.757	0.201	0.086	0.043	0.043	0.258	0.498	0.356	0.142
Composición (fracc. mol)											
C ₁	0.20	0.699	-	0.995	0.01	0.01	0.01	-	-	-	-
C ₂	0.25	0.271	0.279	0.005	0.89	0.89	0.89	0.816	-	-	-
C ₃	0.40	0.030	0.523	-	0.10	0.10	0.10	0.182	0.7	0.98	-
C ₄	0.15	-	0.198	-	-	-	-	0.002	0.3	0.02	1.0

9. El flujo de alimentación a una unidad que consiste en dos columnas contiene 30% de benceno (B), 55% de tolueno (T) y 15% de xileno (X). Se analiza el vapor de destilado de la primera columna y se encuentra que contiene 94,4% de B, 4,54% de T y 1,06% de X. Los fondos de la primera columna se alimentan a la segunda columna. En esta segunda columna, se planea que 92% del T original cargado a la unidad, se recupere en la corriente de destilado, y que el T constituya el 94,6% de la corriente. Se planea además que 92,6% del X cargado a la unidad se recupere en los fondos de esta columna y que el X constituya el 77,6% de dicha corriente. Si se cumplen estas condiciones, calcule :

- a) Todas las corrientes que salen de la unidad.
- b) La recuperación porcentual del benceno en la corriente de destilado de la primera columna.

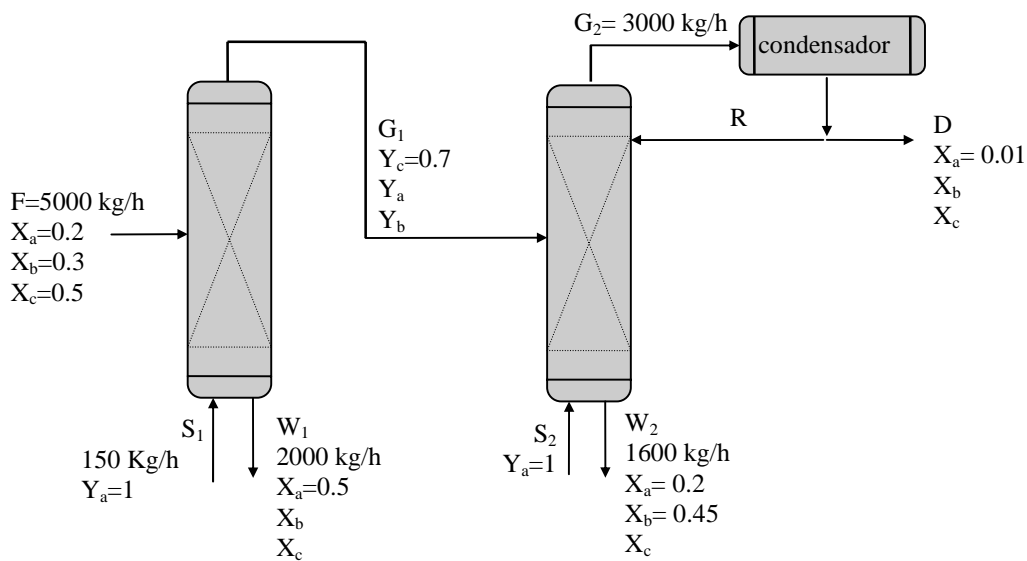


R: b) 0.90

10. Se destila una corriente F en un sistema como el mostrado en el esquema, compuesto por dos torres de destilación, las cuales tienen inyección directa de vapor de uno de los componentes puros del sistema ternario. El condensado es total. Calcular:

Balance de materia y energía

- a) Flujo y composición total de la corriente que une ambas torres.
- b) Composición total de la corriente w_1 .
- c) Caudal y composición total del destilado final.
- d) Caudal de la inyección de vapor de la torre con reflujo.
- e) Relación de reflujo R/D .



- $R =$
- a) 3150 Kg/h; 0.047 Kga/Kg; 0.25 Kgb/Kg
 - b) 0.35 Kgb/Kg; 0.15 Kgc/Kg
 - c) 1737 Kg/h; 0.04 Kgb/Kg; 0.94 Kgc/Kg
 - d) 187 Kg/h
 - e) 0.73

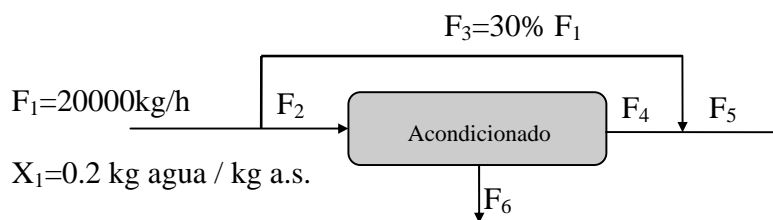
11. Con el objeto de acondicionar 20000 Kg/h de aire con una humedad de 0,2 Kg agua/Kg aire seco, se lo hace circular por un equipo que trabaja como lo indica el esquema. El 30% en peso del aire total se deriva para luego ser mezclado con la corriente que sale del secador. La composición del aire a la salida (después de la mezcla) debe ser de 0,08 Kg agua/Kg aire seco. Calcular:

- a) La cantidad de aire total acondicionado (que sale del proceso)

Balance de materia y energía

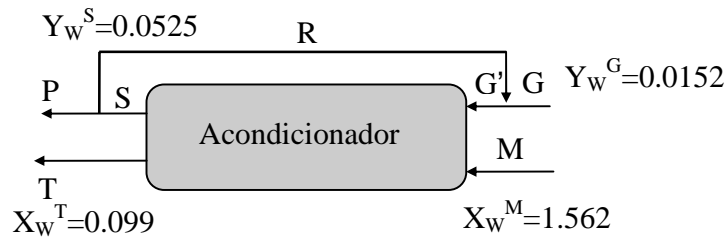
- b) La cantidad de agua extraída al aire en el secador.
- c) La composición del aire que sale del secador.
- d) La cantidad de aire que sale del equipo.

$R =$ a) 18000 Kg/h de aire acondicionado
b) 2000 Kg/h de agua
c) 0,028 Kg agua/Kg total
d) 12000 Kg/h de aire



12. Un material que tiene una humedad de 1.562 Kg agua/Kg sólido seco ha de secarse hasta 0.099 Kg agua/Kg sólido seco. Por cada Kilo de material seco (M) se pasan por el secadero propiamente dicho 52.5 Kg de aire seco que salen con una humedad de 0.0525 Kg agua/Kg aire seco. El aire nuevo (G) se suministra con una humedad de 0.0152 Kg agua/Kg aire seco. Calcular la fracción de aire recirculado (Kg de aire recirculado/Kg de aire seco nuevo). DATO: $G'/M = 52.5 \text{ Kg aire seco/Kg sólido seco}$

$R = 0,33$



Resolución Gráfica. Regla de la Palanca.

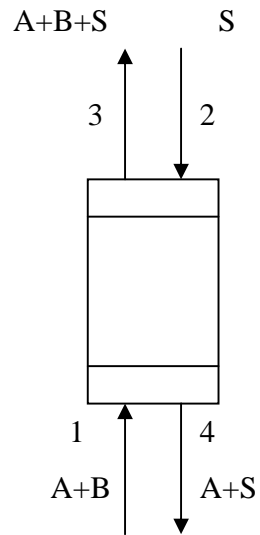
13. Se desea destilar una corriente de 1000 Kg/h que posee 25% p/p de etano, 30% de propano y el resto butano. Si se desea obtener un destilado con no menos de 80% de etano y nada de butano, así como tampoco nada de etano en el residuo; cuáles serán los caudales de destilado y residuo? Resolver por regla de la palanca (Usando triángulo rectángulo y equilátero respectivamente)

$$R = \begin{array}{l} \text{Destilado} = 333 \text{ Kg/h;} \\ \text{Residuo} = 667 \text{ Kg/h} \end{array}$$

14. Un componente (A) debe ser extraído de una mezcla líquida equimolecular (A+B). Para concretar este objetivo se emplea un extractor en el cual se hace circular en contracorriente un solvente S, el cual absorbe selectivamente el componente A de la mezcla produciendo una corriente de extracto de (70% de S – 30% de A), mientras que el residuo arrastra algo de solvente dando una composición de (90% de B – 5% de A – 5% de S).

- a) Marque sobre el diagrama triangular los puntos correspondientes a cada corriente.
 b) Calcule gráficamente los flujos de las corrientes por mol de alimentación de solución (A+B).

Balance de materia y energía



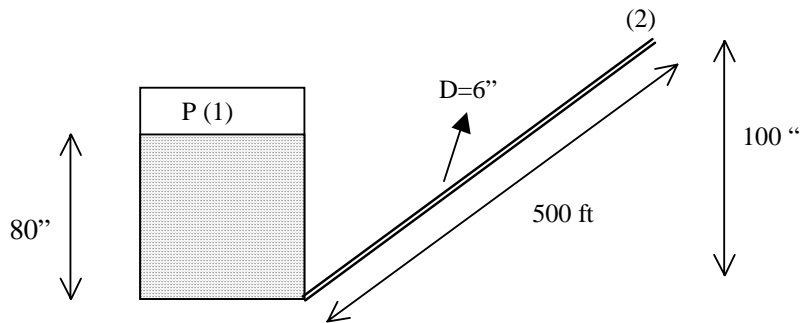
Balances de energía

- 15.** Un aceite de gravedad específica 0,84 fluye desde un tanque A a través de una tubería de acero galvanizado de 500 ft de largo y diámetro nominal de 6" hasta un

Balance de materia y energía

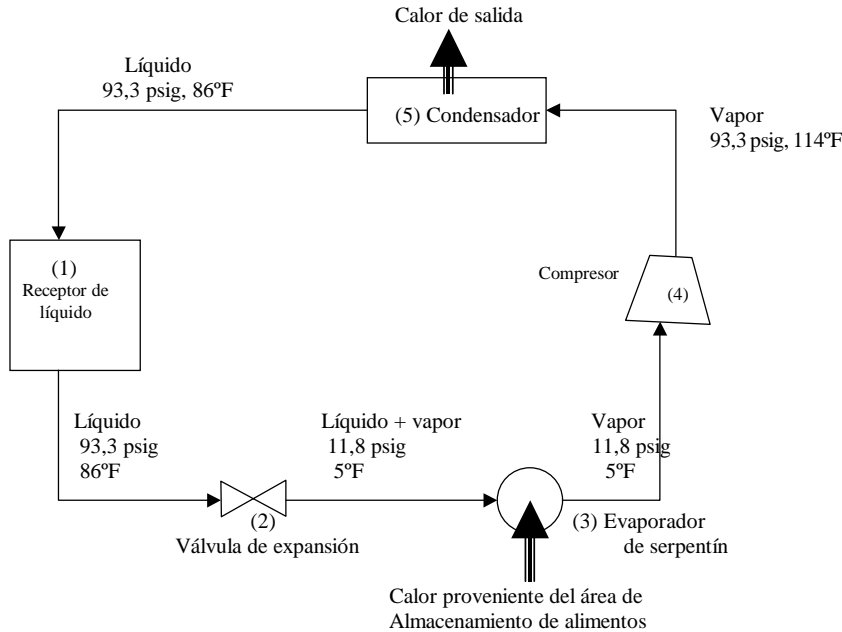
punto B a 100 plg de altura Calcular la presión necesaria (en psig) en el recipiente A para lograr un flujo volumétrico de $0,45 \text{ ft}^3/\text{seg}$, si la pérdida por fricción en el sistema es de $1,9 \text{ lb}_f\cdot\text{ft}/\text{lb}$

$$R = 1,33 \text{ psig}$$



16. El siguiente diagrama representa una versión simplificada de la forma en la cual trabaja un refrigerador

Balance de materia y energía



En (1), un **receptor de líquido**, se almacena un refrigerante líquido (probablemente amoníaco, o alguno de los hidrocarburos halogenados tal como el CCL_2F_2) a alta presión y temperatura. El líquido pasa a través de (2), una **válvula de expansión**, donde se expande instantáneamente a una presión inferior, enfriándose hasta su temperatura de ebullición a esta presión y evaporándose parcialmente. La mezcla líquido-vapor pasa por (3) un **evaporador de serpentín**. Alrededor de éste circula aire proveniente del área de almacenamiento de alimentos, y el calor absorbido por el refrigerante que se evapora dentro del serpentín pasa a (4) un **compresor**, en el cual se lo lleva nuevamente a una presión alta, y durante este proceso aumenta su temperatura. El vapor caliente pasa entonces por (5), un **condensador**, donde se enfría y condensa a presión constante. El aire que absorbe el calor que libera el fluido en condensación se descarga fuera del refrigerador, y el refrigerante líquido regresa a (1) el receptor de líquido. Suponer que el refrigerante 12 (el nombre habitual que se asigna al CCl_2F_2) se circula a través de este ciclo con un flujo de 40 lb/min, mientras que las temperaturas y presiones en los diferentes puntos del ciclo son aquellas que figuran en el diagrama de flujo. Se muestra a continuación datos termodinámicos para el refrigerante 12:

Fluido saturado: $T=5^\circ\text{F}$: $H_{\text{líquido}}=9,6 \text{ Btu/lb}$, $H_{\text{vapor}}=77,8 \text{ Btu/lb}$
 $T=86^\circ\text{F}$: $H_{\text{líquido}}=27,8 \text{ Btu/lb}$, $H_{\text{vapor}}=85,8 \text{ Btu/lb}$
 Vapor sobrecalentado: $T=114^\circ\text{F}$, $P=93,3 \text{ psig}$: $H_{\text{vapor}}=90 \text{ Btu/lb}$

- a) Suponer que la válvula de expansión opera en forma adiabática, y que la variación de energía cinética resulta despreciable. Emplear un balance de energía alrededor de

Balance de materia y energía

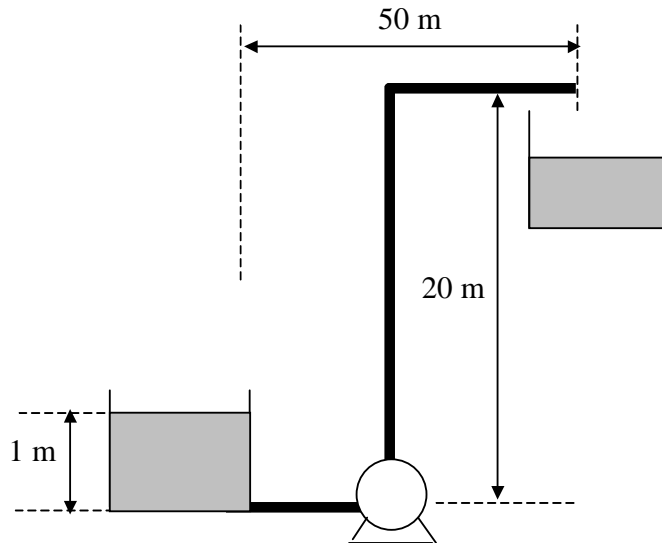
la válvula a fin de calcular la fracción de refrigerante que se evapora en esta etapa del proceso.

- b) Calcular el ritmo, en Btu/min, al cual el refrigerante absorbe calor cuando se evapora en el serpentín. (Éste es el enfriamiento útil que efectúa el sistema).
- c) Si el calor perdido en el condensador es de 2500 Btu/min, qué potencia debe suministrar el compresor al sistema?. (Utilizar un balance global de energía para resolver este problema).

R= a) 26,7%, b) 2000 Btu/min y c) 11,8 HP.

- 17.** Para proveer de agua potable a una población de 20.000 habitantes, se ha instalado un tanque elevado. Para asegurar un buen servicio deberá tener un nivel de agua de 20 m por sobre la cota 0 (cero). Para llevar agua desde las piletas de tratamiento (distantes a 50 m de la base del tanque), se han adquirido cañerías de hierro galvanizado de 4" (pulgadas) de diámetro interno, accesorios, válvulas y una bomba centrífuga de 5 HP. ¿Hubiese aconsejado la compra de esa bomba? Se estima un consumo de 50 lb /hab.día. Las válvulas y accesorios producen una pérdida de presión equivalente a 50 cargas de velocidad ($= 50 F_m v^2/2$) y la bomba seleccionada tiene un rendimiento (potencia real/potencia teórica): $\eta_b = 70\%$

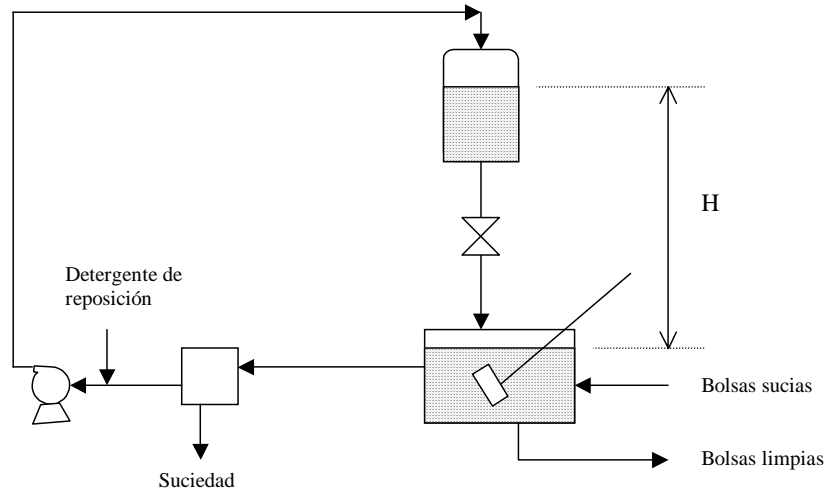
R = Si



18. Filtros de tela se usan para eliminar partículas de los gases circulantes por distintos procesos de una planta industrial. Como el costo de estas bolsas filtrantes es alto, éstas se vacían, se lavan y reutilizan. En el proceso de lavado, un detergente de gravedad específica 0,96 fluye desde un tanque de almacenamiento hasta la máquina lavadora. El líquido efluente es bombeado hacia un filtro para eliminar la suciedad y el detergente limpio es reciclado hacia el tanque de almacenamiento. La alimentación desde el tanque de almacenamiento a la máquina lavadora se efectúa por gravedad con un flujo de $20 \text{ ft}^3/\text{min}$. Todas las tuberías de la línea tienen diámetros internos de 1,5"; las pérdidas por fricción son despreciables en la línea, desde el tanque a la lavadora, cuando la válvula está completamente abierta, y $F=24 \text{ ft}\cdot\text{lb}_f/\text{lb}$ en la línea de retorno, incluyendo a la bomba y el filtro. Suponiendo una eficiencia de la bomba de 75% (entrega el 75% de su valor nominal como trabajo de eje)

calcular la potencia de la bomba para que retornen $20 \text{ ft}^3/\text{min}$ de detergente al tanque de almacenamiento. Calcular la altura H requerida para proveer el flujo deseado, cuando la válvula está completamente abierta.

Balance de materia y energía

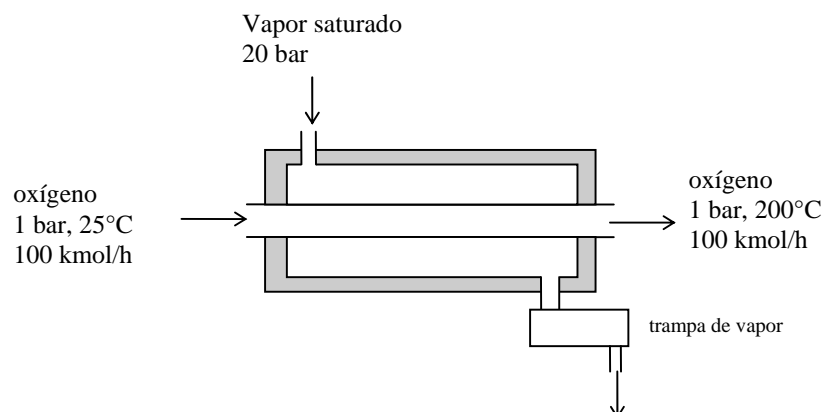


$R =$ a) 11,5 ft, b) 2,37 HP

19. Una corriente de oxígeno a 1 bar, cuyo flujo es de 100 kgmol/h, se va a calentar de 25 a 200°C en un intercambiador de calor aislado, mediante la condensación de vapor saturado disponible a 20 bar.

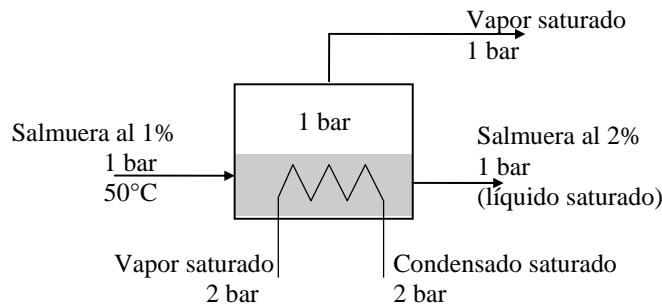
- Determine el consumo de vapor.
- Utilizar la ecuación de Watson para predecir el ΔH de vaporización a otra temperatura. En vez de vapor de agua, se utilizará vapor de benceno sobrecalentado, disponible a 5.5 bar y 250°C. Calcule el flujo de benceno, suponiendo que sale del intercambiador en forma de líquido saturado.

$R:$ a) 278.6 kg/h; b) 1050 kg/h



- 20.** Un evaporador es un tipo especial de intercambiador de calor en el que se utiliza vapor de agua para calentar una solución, con el propósito de eliminar algo de solvente por evaporación. En el evaporador ilustrado, se alimenta una salmuera que contiene 1% en peso de sal en agua, a una presión de 1 bar y 50°C. La salmuera de descarga contiene 2% en peso de sal y está en forma de líquido saturado a 1 bar. El agua evaporada corresponde a un vapor saturado a 1 bar. Si se utiliza vapor saturado a 2 bar como fuente de calor, y si el condensado producido se supone líquido saturado a 2 bar, calcule los kilogramos de vapor de 2 bar que se requieren por kilogramo de agua evaporada. Supóngase que la salmuera tiene las mismas propiedades del agua líquida.

R: 1.25

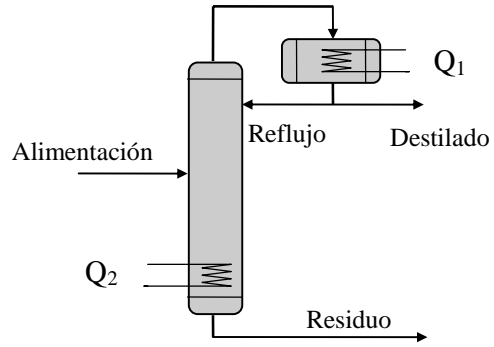


- 21.** En una columna de destilación se fracciona a la presión atmosférica una solución acuosa con 50% de metanol, obteniéndose un destilado y un residuo con 95% y 1% molar de soluto respectivamente. Todas las corrientes en la unidad se hallan en las condiciones de saturación. A la columna se alimentan 215 mol/h, siendo la relación Reflujo/Alimentación = 1.042. Calcular:

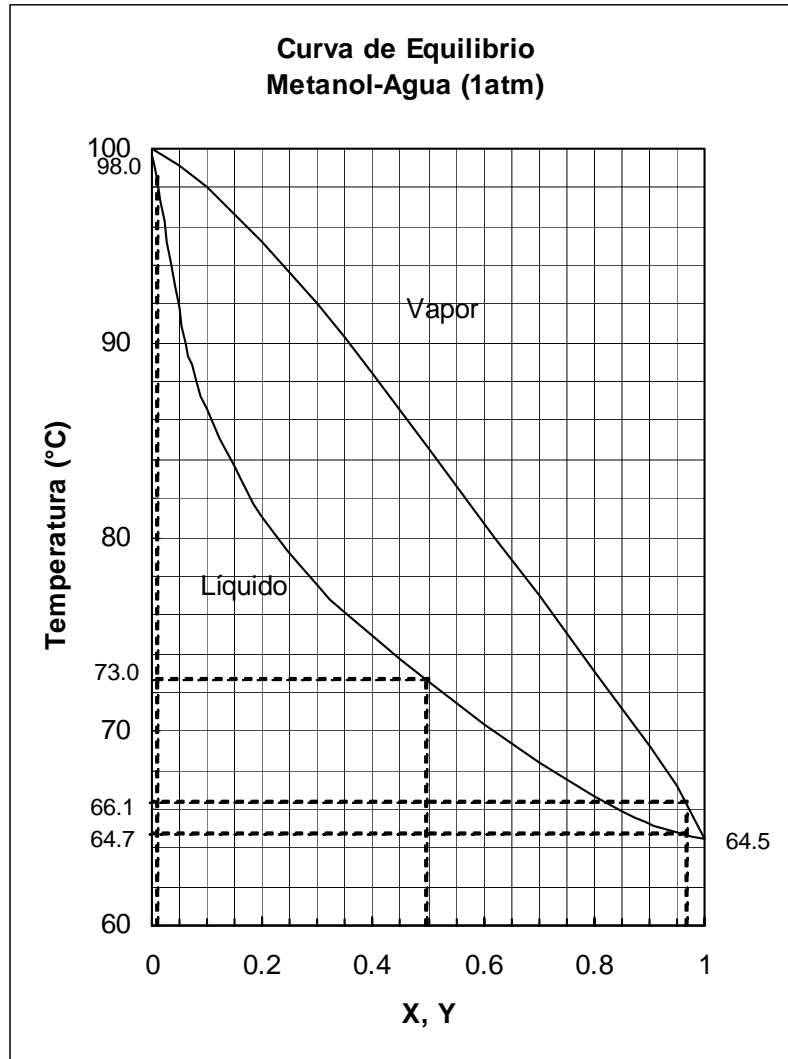
- El calor suministrado a la columna.
- El calor removido en la condensación

Dato: $C_p(\text{CH}_3\text{OH}) (\text{líqu.}) = 0.601 \text{ cal/gr}^\circ\text{C}$. Ver gráfico adjunto al final.

Balance de materia y energía



R: a) $Q_2 = 1.21 \times 10^7 \text{ J/h}$ b) $Q_1 = 1.19 \times 10^7 \text{ J/h}$



22. Un evaporador de doble efecto se emplea para producir agua fresca a partir de agua de mar, que contiene 3,5% en peso de sales disueltas. El agua de mar entra al primer efecto a 300°K, con un flujo de 5000 K/h, mientras que se alimenta vapor saturado, a una presión de 4 bares, a un lecho de tubos en el primer efecto. El vapor se condensa a 4 bares, y el condensado se elimina a la temperatura de saturación que corresponde a esa presión. El calor liberado por el vapor que condensa en los tubos,

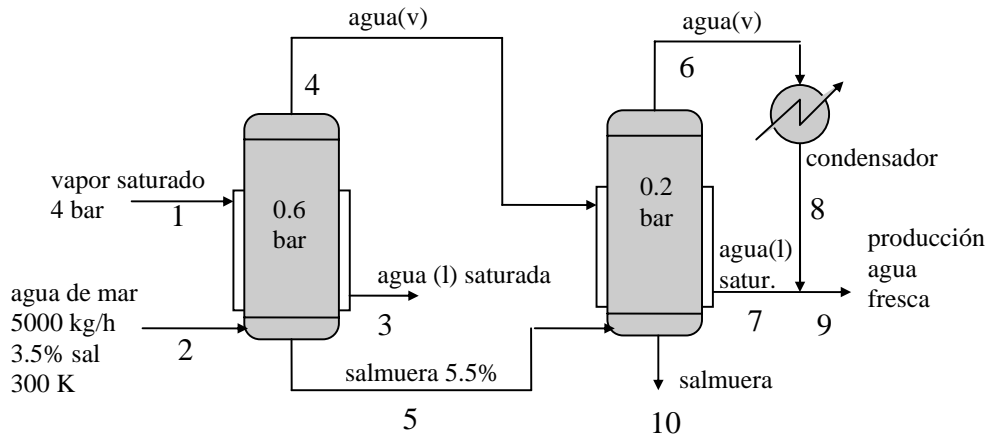
Balance de materia y energía

provoca que se evapore agua de la salmuera que se mantiene en ese efecto a una presión de 0.6 bares. La salmuera que sale del primer efecto, contiene 5.5% de sal. El vapor generado en el primer efecto se alimenta al lecho de tubos del segundo efecto. El condensado del lecho de tubos y el vapor generado en el segundo efecto a una presión de 0.2 bares constituyen el agua fresca producida en el proceso. Se pide:

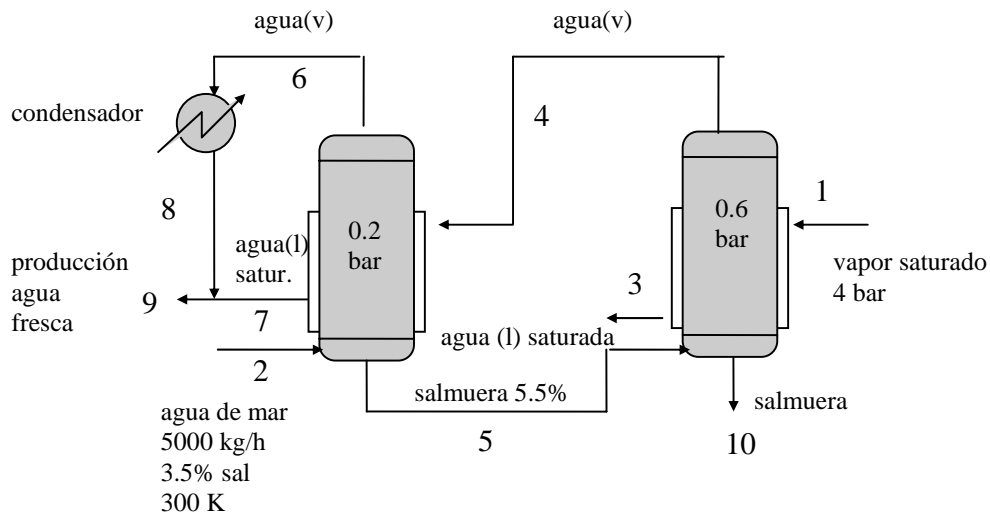
- a) Dar los valores de la temperatura y entalpía específica de cada corriente.
- b) Calcular el flujo de alimentación de vapor al primer efecto.
- c) Calcular el ritmo de producción de agua fresca y la concentración de sal (porcentaje másico) de la solución final de salmuera.
- d) Por qué se vuelve necesario que la presión disminuya de un efecto al siguiente?
- e) Calcular los apartados a, b y c para contracorriente
- f) Suponer que se empleara un evaporador de un solo efecto, operando a 0,2 bares. Calcular el flujo de alimentación del vapor saturado a 4 bares que habría de requerirse para lograr el mismo ritmo de producción de agua fresca.

Considerar que las soluciones de salmuera en ambos efectos, poseen las propiedades físicas del agua pura; y que los efectos operan adiabáticamente.

Balance de materia y energía



Esquema en contracorriente:



R: a)

<i>co-cte</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T(^{\circ}\text{C})$	143.6	300	143.6	86	86	60.1	86.1	60.1	72	60.1
$H(\text{kJ/kg})$	2738.6	109.6	604.7	2653.6	359.9	2609.9	359.9	251.5	304.3	251.5
<i>contra-cte</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T(^{\circ}\text{C})$	143.6	300	143.6	86	60.1					
$H(\text{kJ/kg})$	2738.6	109.6	604.7	2653	251					

b) $F1 = 2541.9 \text{ kg/h}$; c) $F9 = 3732.73 \text{ kg/h}$; $x=0.1381$; e) tabla f) $F3 = 4459.1 \text{ kg/h}$

23. Una corriente que contiene 50% de benceno y 50% de tolueno en masa a 60°C se alimenta a un evaporador de simple fase. El 60% de la alimentación se vaporiza. Analizando el vapor se encuentra que contiene 63,1 de benceno en masa. Las

Cuántos Kg de agua líquida a 80°F y de hielo a 32°F se necesitarán si no se dispone de un sistema externo de enfriamiento?

R: 146 Kg de hielo y 184 Kg de agua líquida.

26. Una solución acuosa que contiene 45% de hidróxido de sodio en peso a 80°F, se diluye con agua líquida a la misma temperatura. El equipo de mezclado se puede considerar adiabático.

a) Usar un gráfico H-X para estimar las entalpías específicas de la solución de alimentación y la del agua.

b) Si la relación de dilución es 1lbm de agua / 2 lbm de solución alimentada calcular el porcentaje en masa de Na(OH) en el producto, la entalpía de la solución final y mediante el gráfico H-X, determinar la temperatura de esta solución final.

c) Verificar el cálculo b- gráficamente mediante la regla de la palanca.

R: a) $H_S = 102 \text{ BTU/lbm}$; $H_A = 48 \text{ BTU/lbm}$; b) $H_P = 83.33 \text{ BTU/lbm}$; $T = 120^\circ\text{F}$

Flash Isotérmico

27. Una corriente que contiene 60% de *n*-octano y 40% de *n*-hexadecano (en base molar), a 5 bar y 500 K, se separa en corrientes de líquido y vapor a 4 bar y 500 K.

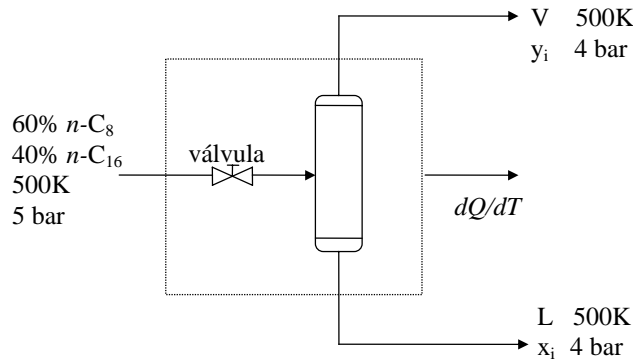
a. Calcule cuánto calor debe suministrarse al tanque de flash por mol de alimentación; supóngase que la ley de Raoult es aplicable.

b. Supóngase que la presión en la unidad flash se reduce a 1 bar, a partir de una presión de 4 bar en la alimentación, pero no se

añade calor al proceso. Determine la temperatura de descarga y los flujos de las corrientes de descarga.

Balance de materia y energía

R: a) 4842 J/h por mol de alimentación; b) 473.73 K



28. Se separa una mezcla que contiene 60% de n -octano y 40% de n -hexadecano (en base molar) a 5 bar y 500K, en corrientes de líquido y vapor a 500K. Suponiendo que se agregue calor al tanque de flash en razón de 6 kJ/mol de alimentación, calcule la presión del flash. Puede aplicarse la ley de Raoult.

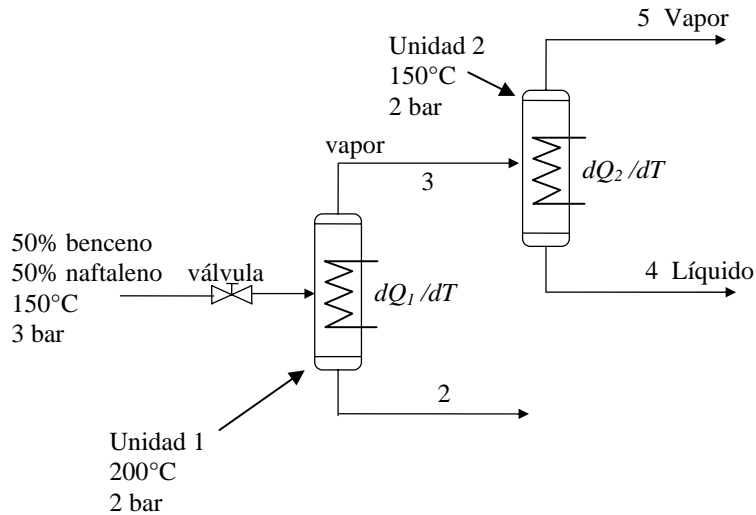
R: 3.7 bar

29. Una corriente de proceso que contiene 50% de benceno y 50% de naftaleno a 3 bar y 150°C, se va a separar en fracciones ricas en benceno y ricas en naftaleno mediante dos unidades flash. En la primera unidad, se añade calor para permitir que ocurra el flash a 200°C y 2 bar; en la segunda unidad se extrae calor, para poder alcanzar una temperatura de 150°C a 2 bar. Puede suponerse que es aplicable la ley de Raoult.

- Construya una tabla de grados de libertad que demuestre que el problema está especificado correctamente.
- Deduzca un orden de cálculo y demuestre que es posible desacoplar a los balances de materia y energía de la unidad.

Balance de materia y energía

- c. Calcule la composición de las corrientes 2, 4 y 5. Indique cuales son las fracciones de división de los componentes para el proceso.



SISTEMAS CON REACCIONES QUIMICAS

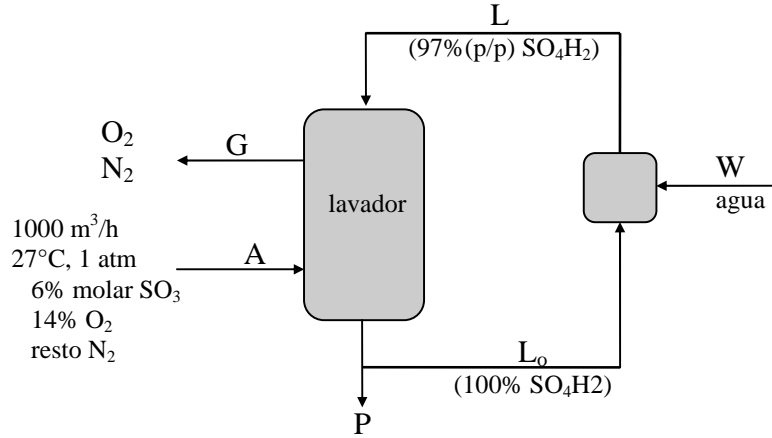
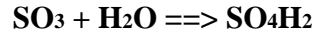
Balances de masa

30. Un reactor para la síntesis de amoníaco se alimenta con una mezcla de H_2 y N_2 siendo el caudal molar de N_2 de 1 Kmol/min y el de H_2 un 20% superior al necesario para que la mezcla fuera estequiométrica. El reactor opera a 427 C y 100 atm. La conversión de salida referida a N_2 es 0.8. Calcular el caudal volumétrico a la entrada y a la salida del reactor.

$$R = \begin{array}{l} \text{Entrada} = 2640 \text{ lt/min} \\ \text{Salida} = 1722 \text{ lt/min} \end{array}$$

31. Determinar los distintos caudales máscicos para el siguiente sistema:

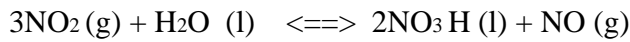
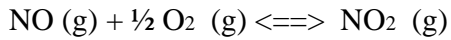
Balance de materia y energía



$$R = \quad P = 239 \text{ kg/h} \quad ; \quad W = 43,9 \text{ kg/h}$$

$$L = 1463,3 \text{ kg/h} \quad ; \quad G = 1093 \text{ kg/h}$$

32. En la producción de ácido nítrico se llevan a cabo las reacciones:

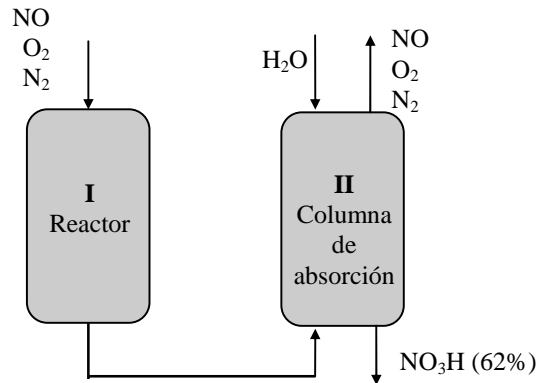


La primera reacción se lleva a cabo en un reactor tubular donde se convierte el 50 % de NO y la segunda en una columna de absorción, tal como se observa en el esquema. La composición de los gases de salida de la columna es:

7.08 % NO; 10.09 % O₂; 82.83 % N₂ (Porcentajes molares)

Balance de materia y energía

Calcular los caudales de las especies en las corrientes de entrada y salida de la unidad, necesarios para producir 10 Tn/h de una solución de NO_3H al 62 % (p/p)



R:

		<i>componente</i>	<i>Entrada</i>	<i>Salida</i>
			<i>(kg/h)</i>	<i>(kg/h)</i>
<i>Para la columna</i>	<i>NO</i>		4428.4	5904.2
	<i>O₂</i>		8975.2	8975.2
	<i>N₂</i>		64468.6	64468.6
	<i>NO₂</i>		6790.3	-----
	<i>H₂O</i>		4685.7	3799.9
	<i>NO₃N</i>		-----	6199..8
<i>Para el reactor</i>	<i>NO</i>		8856.9	
	<i>O₂</i>		11337.0	
	<i>N₂</i>		64468.6	
	<i>NO₂</i>		-----	

33. Se efectúa la hidrólisis del anhídrido acético en un reactor tanque continuo a 50°C. Si se desean producir 1000 Kg/h de una solución de ácido acético al 40% p/p, calcular:

a) El volumen del reactor necesario si la conversión exigida es de 95% (conversión referida a anhídrido acético)

b) La concentración inicial de anhídrido acético necesaria para lograr el % de ácido exigido a la salida.

La densidad de la solución de acético al 40% es 1,026 gr/cm³ (considerarla constante con la composición).

La velocidad de reacción es:

$$Ra = k.Ca$$

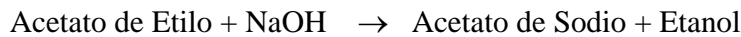
En donde $\log k = 7,551 - 2495,1 / T$
[T] = K
[k] = min^{-1}
[Ca] = mol de a/lit
[Ra] = moles reacc de a/min.lit

La reacción es:



R = a) $0,46 \text{ m}^3$
b) 10.02 gmol/lit

34. En un reactor continuo se lleva a cabo la hidrólisis alcalina del acetato de etilo.



El proceso se verifica en fase líquida, ingresando al recipiente soluciones acuosas de acetato de etilo al 1 % con un caudal de 100 lt/h y de hidróxido de sodio al 0,8 % con un caudal determinado de modo que se logra una relación molar Na(OH)/Acetato de Etilo = 1,5. A la salida del reactor el análisis indica una concentración de NaOH de 0,045 M. La reacción se verifica irreversiblemente y debido a las bajas concentraciones la densidad de las corrientes de entrada y salida, así como la de la mezcla puede considerarse igual a la del agua. Calcular:

- La concentración de acetato de sodio a la salida.
- Conversión del acetato de etilo.
- Concentración del acetato de sodio a la salida si la reacción se verifica en forma completa.

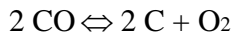
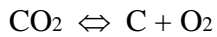
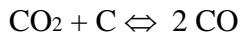
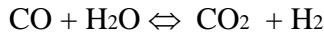
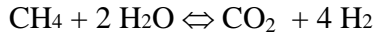
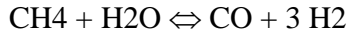
Considerar fracciones másicas.

R: a) 0.047; b) 0.7667; c) 0.06133

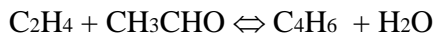
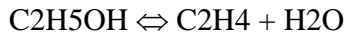
Reacciones múltiples

35. Encontrar cuántas reacciones son independientes para los siguientes sistemas de reacciones:

a) Reformado del metano

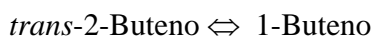
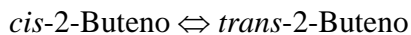
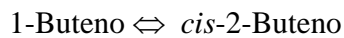


b) Pirolisis del etanol



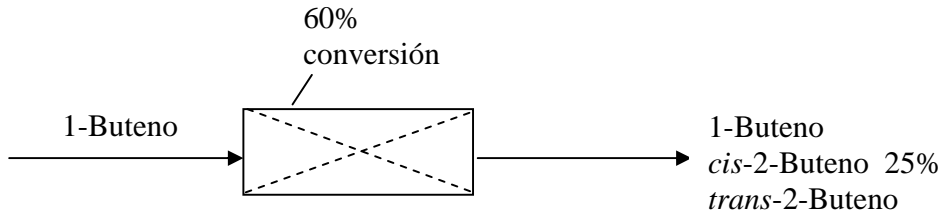
R: a) Rango= 4; b) Rango = 3

36. Los isómeros son compuestos químicos que tienen la misma fórmula molecular, pero diferente estructura molecular. Debido a sus diferencias en estructura, las diversas formas isoméricas de un compuesto tienen generalmente diferentes propiedades químicas y físicas. Si un isómero tiene una propiedad que puede explotarse industrialmente, entonces existe un incentivo para convertir los demás isómeros a esa forma particular. Un ejemplo de este caso es la familia de isómeros formada por el 1-buteno, C_4H_8 , y los isómeros geométricos *cis*-2-buteno y *trans*-2-buteno. Estos tres isómeros pueden interconvertirse mediante un catalizador de alúmina. La reacción de interconversión puede presentarse mediante las siguientes reacciones monomoleculares de isomerización:

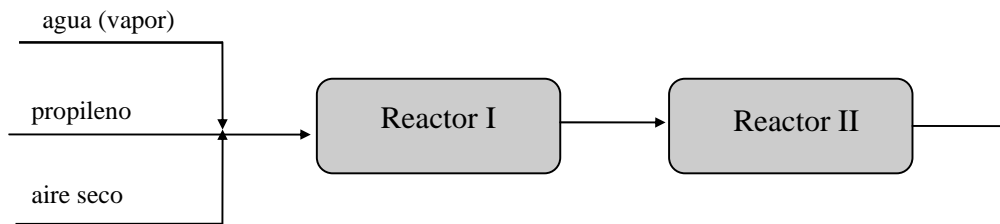


Supóngase que bajo determinadas condiciones de temperatura y presión, 60% de una corriente de alimentación 1-Buteno puro se convierte a un producto que contiene 25% de *cis*-2-Buteno y composiciones no especificadas de los otros dos isómeros. Calcule las composiciones desconocidas. La figura ilustra el diagrama de flujo del proceso.

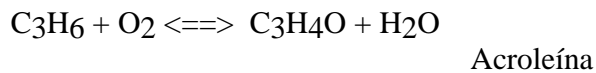
R: 40% 1-Buteno



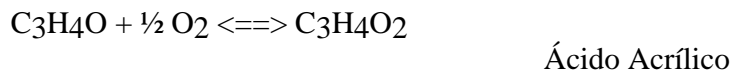
37. El siguiente esquema ilustra en forma simplificada la producción de ácido acrílico por oxidación catalítica de propileno.



En el reactor I se produce la reacción:



Completándose la oxidación en II según:



En un proceso industrial similar al descrito, se produce 1 Tn/día de ácido acrílico. Los análisis de los gases de salida de los reactores arrojan los siguientes resultados:

$$(\% \text{N}_2 / \% \text{O}_2) = 5.969 \qquad (\% \text{N}_2 / \% \text{O}_2) = 8.203$$

Por otra parte, las condiciones del proceso exigen las siguientes relaciones molares a la entrada del primer reactor:

$$(\text{Agua} / \text{Propileno}) = 7 \qquad (\text{Aire} / \text{Propileno}) = 12$$

La composición del aire alimentado, el cual es seco, puede tomarse como:

Balance de materia y energía

$$\% \text{N}_2 = 78,1 \quad \% \text{O}_2 = 21 \quad \% \text{Ar} = 0,9 \quad (\% \text{v/v})$$

Suponiendo que en cada reactor se verifican solamente las reacciones indicadas, calcular:

- La conversión de O en cada reactor
- La conversión de propileno en el reactor I y la de acroleína en el reactor II
- El rendimiento del proceso expresado en:

Kg ácido acrílico/ Kg de propileno alimentado

- La fracción molar producida de vapor de agua a la salida del reactor I
- El flujo volumétrico total a la salida del reactor I siendo la temperatura 375°C y la presión 10 atm.

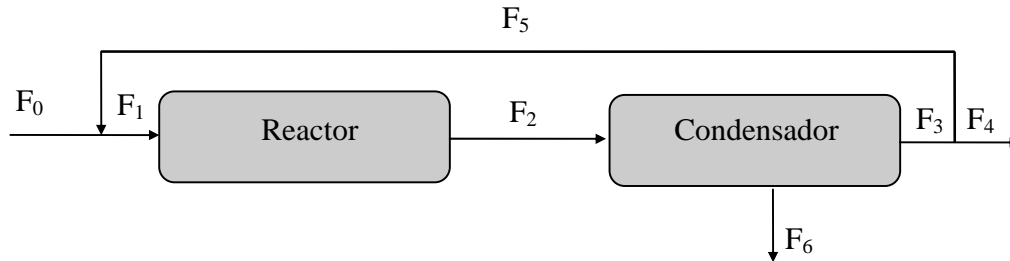
$$R = \begin{array}{l} a) 0.377(I); 0.272 (II) \\ b) 0.942 \text{ y } 0.907 \\ c) 1.46 \\ d) 0.397 \\ e) 71839.9 \text{ lt/h} \end{array}$$

38. Se alimentan N_2 y H_2 en relaciones estequiométricas a un reactor de síntesis de amoníaco ($\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$) De la corriente de salida se separa todo el amoníaco por condensación y se recicla el gas no reaccionado. Como el nitrógeno alimentado proviene del aire se introduce también oxígeno y argón. Suponiendo que el 20% de N_2 se convierte a NH_3 en un pasaje a través del reactor y que un 0,5% de la salida del condensador (F_3) se elimina del sistema por F_4 . Determinar:

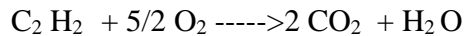
- Los grados de libertad del sistema.
- Cuáles son los caudales molares de las distintas corrientes y sus composiciones si se producen 100 Kmol/h de amoníaco.
- La relación de reciclaje de N_2 (moles reciclados/moles alimentados al proceso)
- El rendimiento del proceso referido a N_2 alimentado al proceso en (Kmol amoníaco/h) / (Kmol N_2 /h)

Dato composición del aire es: $\text{O}_2 = 21\%$, $\text{N}_2 = 78\%$, $\text{Ar} = 1\%$

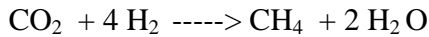
R= c) 3.9 d 196%



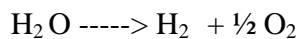
39. En un sistema cerrado de soporte vital (diseño de equipo para misiones espaciales tripuladas, donde se dedica atención considerable a los suministros de aire, agua y alimentos), el dióxido de carbono y el agua de la respiración y de la orina se reprocessan para volverse a utilizar como se muestra en el diagrama de flujo. Los alimentos, representados como $C_2 H_2$, se consumen mediante la reacción:



Los productos de la respiración se separan por condensación del $H_2 O$, y el gas de desperdicio restante, que contiene una proporción de N_2 a CO_2 de aproximadamente 1 a 100, se hace reaccionar para obtener agua mediante:



El agua condensada se envía a una celda en donde se produce O_2 e H_2 mediante electrólisis:



Para mantener una atmósfera “normal” dentro de la cabina, se mezcla suficiente N_2 con el O_2 , de manera que el gas alimentado a la cabina contenga 25 % de O_2 . Debido a que se pierde algo de N_2 con el gas descargado, deberá agregarse N_2 al sistema, de un depósito de reserva. Suponiendo que el organismo requiere 7.5 moles de O_2 por cada mol de $C_2 H_2$ para el metabolismo, y que 10% del $H_2 O$ producida por oxidación de los alimentos se recupera de la orina, calcule todos los flujos y composiciones en el sistema, con base en 1 mol/h de $C_2 H_2$.

0.76 (referida al metano)

0.65 (referida al etano)

41. En la reacción de combustión del metano se obtuvo una conversión del 90% referida al metano, contando con una alimentación de 20% (molar) de metano, 60% de oxígeno y el resto dióxido de carbono. Si se procesan 150Kmol/h de alimentación, calcular los caudales molares de salida del reactor, haciendo balances:

a- sobre especies moleculares.

b- sobre especies atómicas o elementales.

R: corriente salida: $N_{CH_4} = 3 \text{ kmol/h}$, $N_{H_2O} = 54$, $N_{CO_2} = 57$, $N_{O_2} = 36$

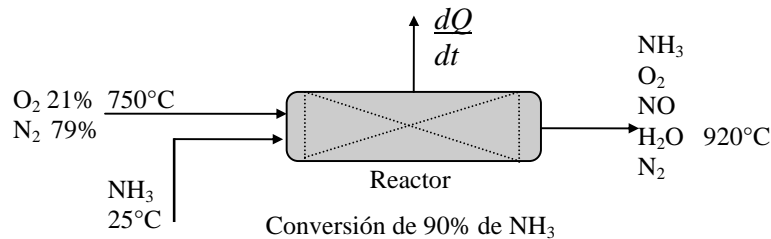
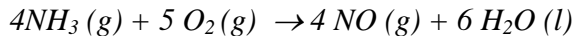
Balances de energía

42. El óxido nítrico puede formarse mediante la oxidación parcial del NH_3 con aire. En un reactor se alimenta NH_3 a $25^\circ C$ y se hace reaccionar con aire precalentado a $750^\circ C$ a 1 bar, lográndose una conversión del 90% de NH_3 . Si la temperatura de la corriente de descarga del reactor no puede ser superior a $920^\circ C$:

a) Calcule la velocidad de disipación de calor requerida por mol de NH_3 alimentado, suponiendo una alimentación de 2.4 moles de O_2 por mol de NH_3 .

b) Repita la solución utilizando los elementos como condición de referencia.

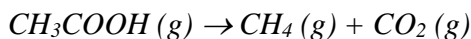
R: a) y b) -22.53 kcal/h



43. En un horno se efectúa la descomposición térmica del ácido acético, para producir queteno mediante la reacción



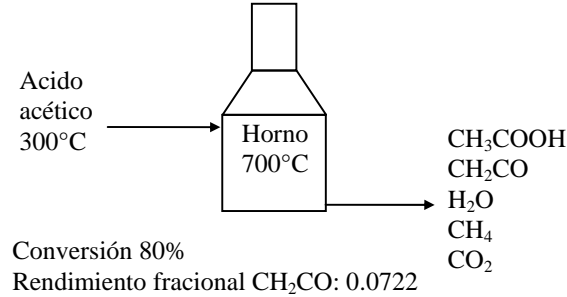
La reacción



Ocurre también de manera apreciable. Se desea efectuar la descomposición a $700^\circ C$, con una conversión de 80% y un rendimiento fraccional de queteno de 0.0722.

Balance de materia y energía

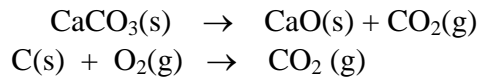
Calcule la razón de suministro de calor en el horno, para una alimentación de 100 kgmol/h de ácido acético. La alimentación se efectúa a 300°C.



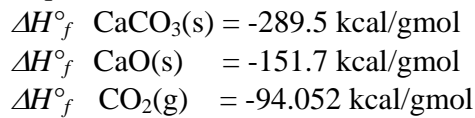
Rendimiento fraccional = moles CH₂CO / moles CH₃COOH que reaccionan
 $C_{p,CH_2CO(g)} = 0.411 + 2.966 \times 10^{-2} T - 1.793 \times 10^{-5} T^2 + 4.22 \times 10^{-9} T^3$;
 con $C_p [=] J/mol K$; $T [=] + K$

R: 496 x 10³ kcal/h

44. Se carga un horno vertical con piedra caliza pura, CaCO₃, y coque también puro (carbono), ambos a 25°C. Por el fondo del horno se introduce aire seco, que proporciona el calor necesario para la descomposición del carbonato, mediante la combustión del carbono hasta CO₂. Por el fondo del horno se descarga cal viva, CaO, a 950°C, que contiene 5% de carbono y 1% de CaCO₃. Los gases del horno se descargan por la parte superior a 600°C y contienen únicamente CO₂ y N₂. Supóngase que pueden despreciarse las pérdidas. Las reacciones son



sabiendo que

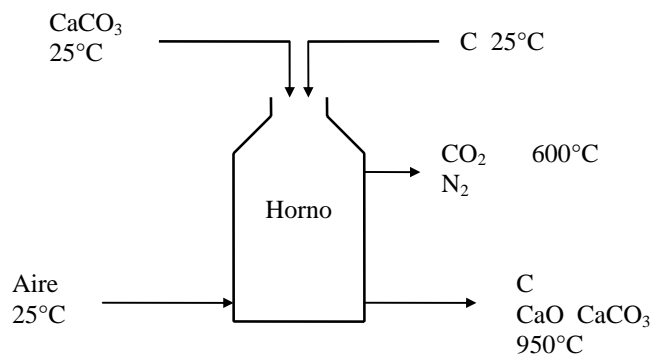


<i>Capacidades caloríficas molares promedio constantes</i>	(cal/gmol.K)
CaO (s)	13.7
CO ₂ (g)	12.2

Balance de materia y energía

N ₂ (g)	7.5
O ₂ (g)	8.0
CaCO ₃ (s)	28.0
C (s)	4.6

- a) Calcule los calores de reacción a 25°C.
- b) Construya una tabla de grados de libertad para el problema. Determine si pueden desacoplarse los balances de materia y energía.
- c) Calcule la proporción de CaCO₃ a C en la alimentación.



R: a) 43.748 kcal/mol; -94.052 kcal/mol c) 1.119

- 45.** En la fabricación del dióxido de azufre mediante oxidación directa del azufre con oxígeno puro, $S + O_2 \rightarrow SO_2$, el dióxido de azufre frío debe recircularse al quemador, de manera que se mantenga la temperatura de flama abajo de 1000 K para evitar daños al quemador. Calcule los moles de SO₂ recirculadas y los moles de vapor de agua producida por mol de SO₂ producido.

Para el azufre: Punto de fusión = 113° C
 Calor de fusión (en el punto de fusión) = 0.3 kcal/gmol
 Capacidad calorífica del sólido = 5.8 cal / (gmol. K)

R: b) 10.35 moles SO₂/h; 0.13 moles H₂O/h

Balance de materia y energía

