

BALANCES DE MATERIA (3:30horas)

DÍA 1: 21 de marzo de 2017

Conceptos teóricos

-El **balance** se puede escribir de **forma general** de la siguiente forma:

$$\text{entrada} + \text{generación (producción)} - \text{salida} - \text{consumo} = \text{acumulación}$$

Produciéndose la entrada y salida por las fronteras del sistema y la generación o producción y el consumo internamente en el sistema.

En **régimen estacionario la acumulación es nula (=0)**.

El balance se podrá **realizar de distintas formas** de acuerdo a sus características:

- **Sin reacción:** Se puede hacer en masa y en moles
- **Con reacción:** Se puede hacer en masa, en moles (OJO: moles entrada \neq moles salida) y en elementos químicos (C, H, O...)

-Hay **tres conceptos fundamentales** para la realización de este tipo de problemas:

- ✓ **Rendimiento (η):** Cociente entre el resultado obtenido de un producto frente al que se podría haber obtenido estequiométricamente:

$$\eta = \frac{\text{Producto obtenido}}{\text{Producto estequiométrico}} * 100$$

- ✓ **Conversión (χ):** Fracción de un reactivo que se ha convertido en producto.
Si $A \rightarrow \text{Productos}$:

$$\chi_A = \frac{C_{A,0} - C_A}{C_{A,0}} * 100$$

Existe la conversión en el proceso y en el reactor, son conceptos distintos.

- ✓ **Selectividad (S):** Cociente entre la cantidad de producto obtenido y la cantidad de reactivo desaparecido en el reactor (en moles).

-Trabajaremos con procesos que **se pueden clasificar**:

- **Según el tiempo:** Intermitentes, continuos y semintermitentes
- **Según las variables:** permanente (estacionario) y transiente
- **Según la química:** con reacción y sin reacción

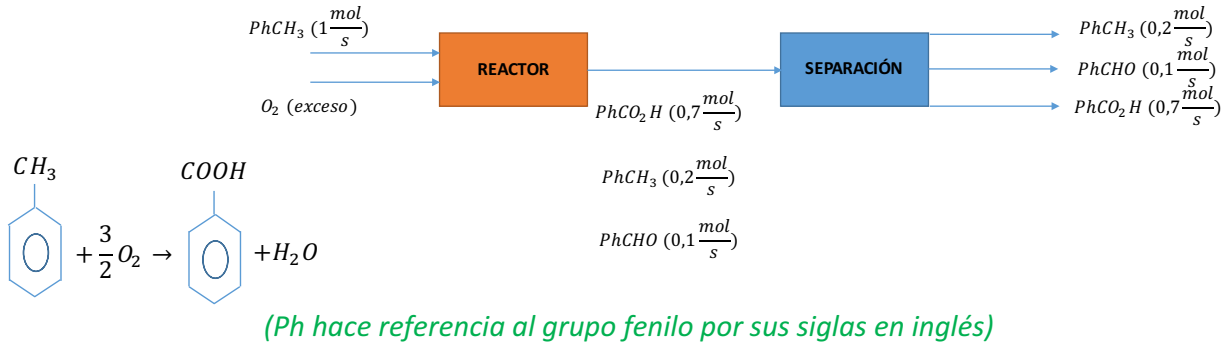
Busca tu residencia o piso de estudiantes en Uniplaces



Uniplaces

Problema 0

Calcular la conversión del tolueno, el rendimiento del ácido benzoico y la selectividad del mismo en el siguiente proceso. a) Sin reciclo de tolueno b) con reciclo de tolueno



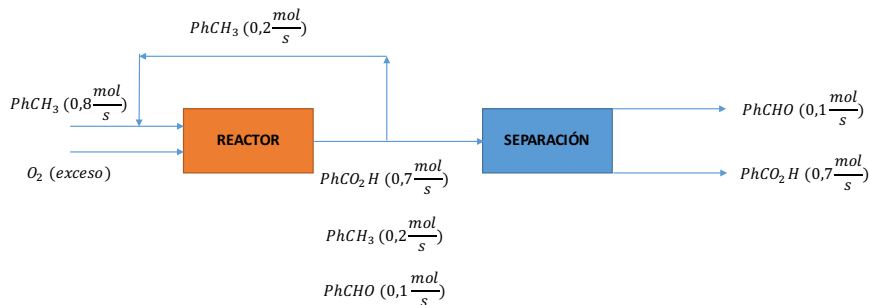
a) Sin reciclo de tolueno

-Conversión del tolueno: $\chi_{PhCH_3} = \frac{1-0,2}{1} * 100 = 80\%$

-Rendimiento del ácido benzoico: $\eta_{PhCOOH} = \frac{0,7}{1} * 100 = 70\%$

-Selectividad del ácido benzoico: $S_{PhCOOH} = \frac{0,7}{1-0,2} * 100 = 87,5\%$

b) Con reciclo de tolueno



-Conversión del tolueno en el proceso: $\chi_{PhCH_3_{proceso}} = \frac{1-0,2}{1} * 100 = 80\%$

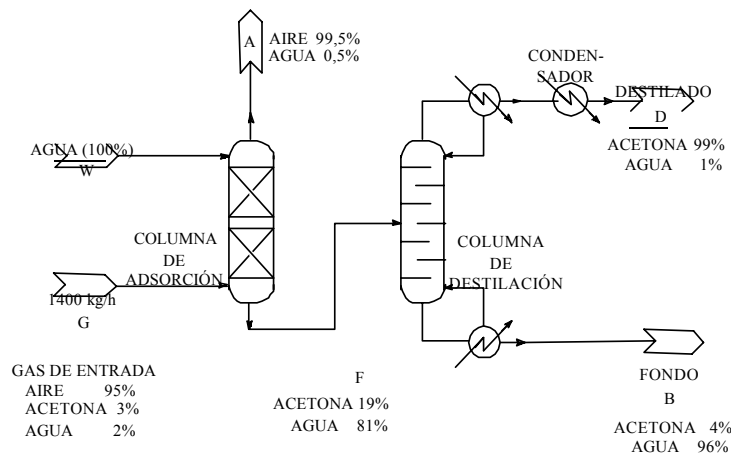
-Conversión del tolueno en el reactor: $\chi_{PhCH_3_{reactor}} = \frac{(0,8+0,2)-0,2}{(0,8+0,2)} * 100 = 80\%$

-Rendimiento del ácido benzoico en el proceso: $\eta_{PhCOOH_{proceso}} = \frac{0,7}{0,8} * 100 = 87,5\%$

- Selectividad del ácido benzoico en el proceso: $S_{PhCOOH_{proceso}} = \frac{0,7}{(1-0,2)} * 100 = 87,5\%$

Problema 4 (Sin reacción química ni reciclo)

4.- La acetona se utiliza en la fabricación de muchos productos químicos, y también como disolvente. En este último papel, se han promulgado numerosas restricciones sobre la liberación de vapores de acetona al medio ambiente. En este problema, se propone el diseño de un sistema de recuperación de acetona con el diagrama de flujo de la figura. Como punto de partida, se pide llevar a cabo un balance de materia para el sistema de la figura. Todas las concentraciones indicadas en la figura, tanto para gases como para líquidos, se especifican en porcentajes en peso, para hacer más sencillos los cálculos.



Quedando la expresión general de los balances: $entrada - salida = 0$

En este caso, empleamos como base de cálculo la corriente G, de la cual conocemos el valor.

Por un lado, en la columna de absorción:

$$\begin{aligned}
 TOTAL: & 1400 + W = A + F \\
 AGUA: & 1400 * 0,02 + W * 1 = A * 0,005 + F * 0,81 \\
 AIRE: & 1400 * 0,95 = A * 0,995 \\
 ACETONA: & 1400 * 0,03 = F * 0,19
 \end{aligned}$$

Quedando: $W = 157,7 \text{ kg/h}$; $A = 1336,7 \text{ kg/h}$; $F = 221 \text{ kg/h}$

En cuanto a la columna de destilación:

$$\begin{aligned}
 TOTAL: & 221 = D + B \\
 AGUA: & 221 * 0,81 = D * 0,01 + B * 0,96 \\
 ACETONA: & 221 * 0,19 = D * 0,99 + B * 0,04
 \end{aligned}$$

Quedando: $D = 34,9 \text{ kg/h}$; $B = 186,1 \text{ kg/h}$



NEGRITA
SOUND
TALENT

BUSCAMOS
AL MEJOR
DJ EMERGENTE
DEL 2017



NEGRITA
SOUND
TALENT

¿SERÁS TÚ EL NUEVO
TALENTO MUSICAL?

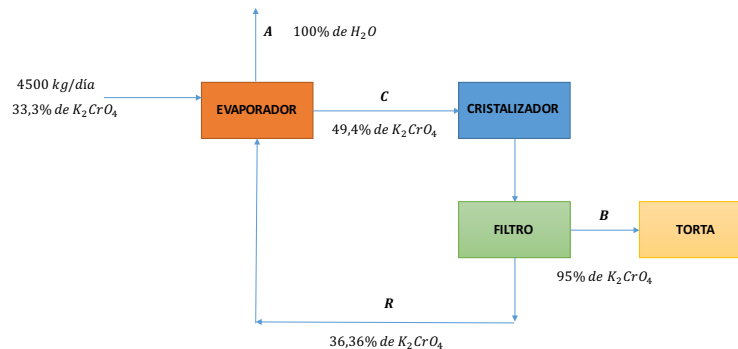
Entra en:
www.negrita.es/negritasoundtalent
¡Y participa!

PQdR_P_Balances de materia | Pablo Álvarez Ferre

Problema 5 (Sin reacción química, con reciclaje)

5.- 4500 kg/día de una disolución que contiene 1/3 de K_2CrO_4 en peso y una corriente de recirculación que contiene 36,36% de K_2CrO_4 se alimentan a un evaporador. La corriente concentrada que abandona el evaporador contiene 49,4% de K_2CrO_4 . Con ella se alimenta a un cristalizador en donde por enfriamiento, precipitan cristales de K_2CrO_4 que se filtran. Los cristales de K_2CrO_4 forman el 95% de la masa total de la torta de filtrado. La disolución que atraviesa el filtro (concentración 36,36%) es la corriente de recirculación.

Calcular el peso del agua eliminada en el evaporador, la velocidad de producción de cristales y la relación entre los kg de recirculación a kg de K_2CrO_4 producidos y los flujos de alimentación que debe poder manejar el evaporador.



La estrategia para resolver este problema, y, en general, todos aquellos que incluyan refluo, consiste en abordarlo primero de forma global y después parcial.

-De forma global:

$$\begin{aligned} \text{TOTAL: } 4500 &= A + B \\ K_2CrO_4: 4500 * 0,333 &= 0,95 * B \\ \text{AGUA: } 4500 * (1 - 0,333) &= A + 0,05 * B \end{aligned}$$

Quedando: $A = 2921 \text{ kg/día}$; $B = 1578,8 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$ (cristales húmedos)

-Tratándolo parcialmente, en el cristalizador:

$$\begin{aligned} \text{TOTAL: } C &= B + R \\ K_2CrO_4: 0,494 * C &= 0,3636 * R + 0,95 * 1578,8 \\ \text{AGUA: } (1 - 0,494) * C &= (1 - 0,3636) * R + 0,05 * 1578,8 \end{aligned}$$

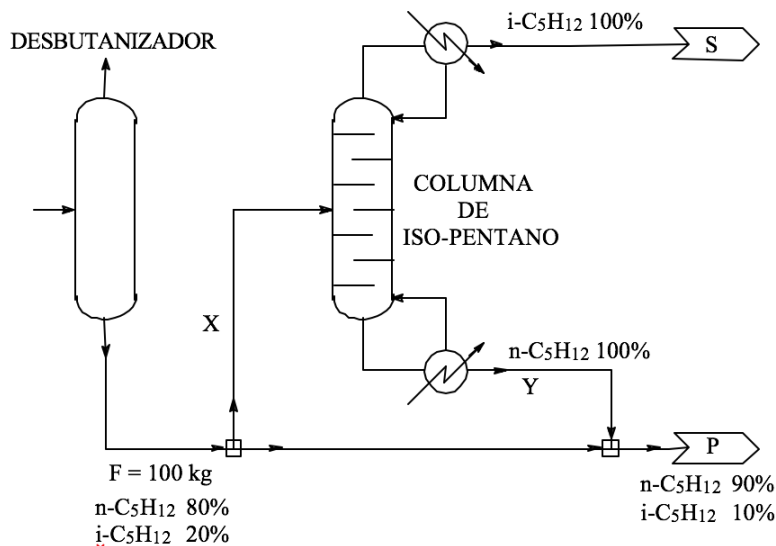
Quedando: $C = 7100 \text{ kg/día}$; $R = 5521,8 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$

Por último, la relación que buscamos: $\frac{R}{0,95 * B} = 3,7$ (OJO: Producción de cromato, no de cristales húmedos)

Problema 7 (Sin reacción química, con reciclaje)

DÍA 2: 27 de marzo de 2017

7.- En la sección de preparación de alimentación de una planta que produce gasolina natural el isopentano se elimina de la gasolina, una vez que ésta se ha liberado de butanos. Suponer con propósito de simplificación que el proceso y los componentes se indican en la figura. ¿Qué fracción de la gasolina, libre de butano, se pasa a través de la columna de isopentano?



Solución: Fracción de gasolina= 0,55

-La primera consideración, a aplicar a numerosos ejercicios, es que los nudos de división separan o unen corrientes, pero no cambian la composición. Sin embargo, son T's de fontanería, por lo que dependiendo de la sección pueden tratar caudales distintos.

-Teniendo en cuenta el balance global del sistema:

$$\begin{aligned} \text{TOTAL: } F &= S + P \\ n - C_5H_{12}: 0,8 * F &= 0,9 * P \\ i - C_5H_{12}: 0,2 * F &= 0,1 * P + S \end{aligned}$$

Quedando: $P = 88,9 \text{ kg}$; $S = 11,1 \text{ kg}$

-Para la columna del isopentano:

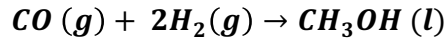
$$\begin{aligned} \text{TOTAL: } X &= S + Y \\ i - C_5H_{12}: 0,2 * X &= S = 11,1 \text{ kg} \end{aligned}$$

Quedando: $X = 55,5 \text{ kg}$

-Luego, la fracción de gasolina que buscamos: $x = \frac{X}{F} = \frac{55,5}{100} = 0,55$

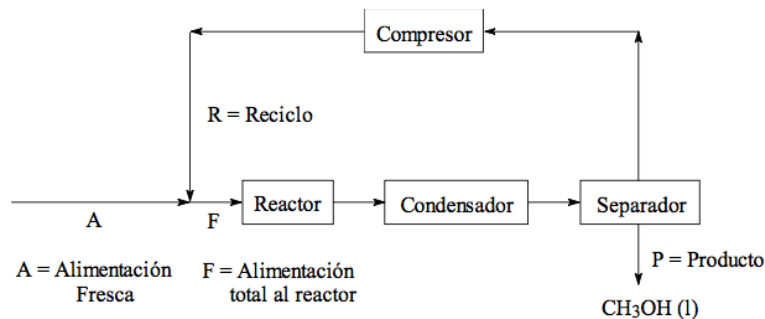
Problema 17 (Con reacción química, con reciclaje)

17.- El metanol se produce a partir del gas de síntesis mediante la reacción:



Sólo el 15% molar del CO que se alimenta al reactor se convierte en metanol, por lo que es preciso reciclar una gran cantidad de gases no reaccionados. El metanol producido se condensa y separa de los gases no reaccionados. La razón molar H₂/CO en la corriente fresca de alimentación a la planta es exactamente la cantidad estequiométrica, 2.

Calcular los caudales molares de alimentación fresca y de reciclaje requeridos para producir 3785,41 litros/hora de metanol líquido a 21°C, temperatura a la que la densidad del metanol es 0,791 g/cm³. (Peso molecular del metanol = 32 g/mol)



Solución: **A = 280,7 kmol/h; R = 1590,7 kmol/h**

-Siempre que abordemos un problema con reacción química, **HACER EN MOLES (MAYOR COMODIDAD MATEMÁTICA)**

-Emplearemos como base de cálculo la corriente P, la cual es la más detallada. Sin embargo, no nos interesan las unidades en las que se da en el problema:

$$P = 3785,41 \frac{l}{h} * \frac{0,79kg}{dm^3} * \frac{32kg}{kmol} = 93,57 kmol/h$$

-Según la estequiometría de la reacción, en la entrada A tenemos:

$$A = A_{CO} + A_{H_2} = 93,57 + 2 * 93,57 = 280,71 kmol/h$$

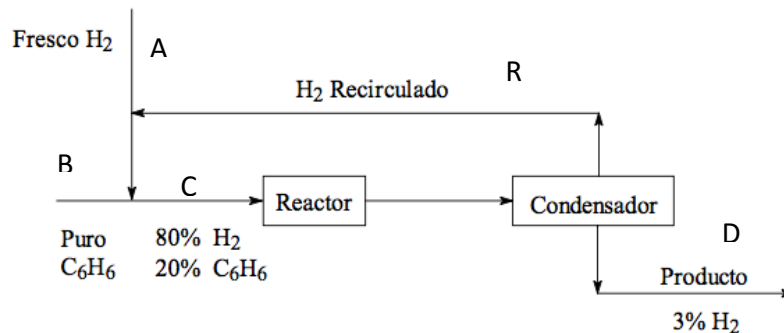
-Hay un dato, el del 15% de conversión que da la expresión: $0,15 * F_{CO} = P = 93,57 kmol/h$; siendo $F_{CO} = 623,8 kmol/h$ y como se mantiene la relación H₂ a CO, tendremos: $F = F_{CO} + F_{H_2} = 623,8 + 2 * 623,8 = 1871,4 kmol/h$

-Como se mantiene dicha relación en el refluo R, podemos aplicar: $R = F - A = 1590,7 kmol/h$

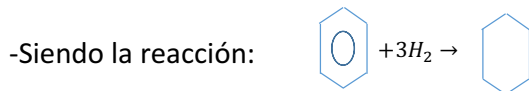
Problema 15 (Con reacción química, con reciclo)

15.- Se convierte benceno a ciclohexano (C₆H₁₂) por adición directa de H₂. La planta produce 100 kmol/h de ciclohexano. Noventa y nueve por ciento del benceno alimentado al proceso reacciona para producir ciclohexano. La composición de la corriente de entrada al reactor es de 80 mol % de H₂ y 20% de C₆H₆, y la corriente de producto contiene 3 mol % de H₂.

Calcular: a) La composición de la corriente de producto; b) Los flujos de alimentación de C₆H₆ y de H₂; c) La relación de recirculación de H₂



Solución: Benceno alimentado=101,0 kmol/h; H₂ fresco alimentado=303,12 kmol/h; Relación de recirculación (H₂) =0,33



-Según el dato de la conversión del benceno puro: 0,99 * B = P = 100kmol/h; siendo **B = 101,0 kmol/h**

-En la corriente del producto, denotada por D: D = 0,03 * D + 100 + 1,0; donde el 1,0 proviene del benceno que no ha reaccionado según la estequiometría de la reacción; siendo: **D = 104,12 kmol/h**

-De forma global, para el hidrógeno fresco: A = 0,03 * D + 3 * 100; según el reactivo sobrante y la estequiometría de la reacción, quedando: **A = 303,12 kmol/h**

-Por último, buscamos hallar la relación de recirculación, que será: $RR = \frac{R}{A}$. Para hallar R tenemos que considerar los nudos:

$$\begin{aligned} \text{TOTAL: } A + B + R &= C \\ \text{C}_6\text{H}_6: B &= 0,2 * C \\ \text{H}_2: A + R &= 0,8 * C \end{aligned}$$

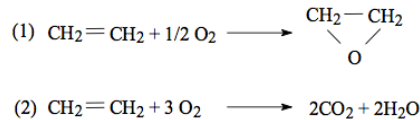
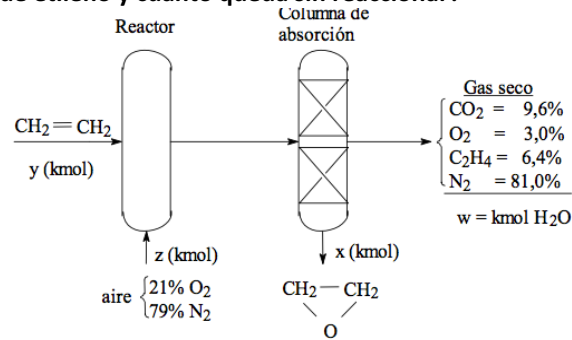
-Siendo: **C = 505 kmol/h; R = 100,88 kmol/h**

-Quedando la relación buscada: **RR = $\frac{R}{A}$ = 0,33**

Problema 14 (Método de balances por elementos)

DÍA 3: 28 de marzo de 2017

14.- En una industria se produce óxido de etileno por oxidación catalítica de etileno con aire. Si las condiciones se controlan cuidadosamente, una fracción sustancial de etileno se convierte en óxido de etileno, otra se oxida completamente a dióxido de carbono y agua y el resto queda sin reaccionar. Los gases que abandonan el reactor pasan por una columna de absorción donde queda retenido el óxido de etileno. El gas residual analizado da la siguiente composición en base seca (% molar) CO₂, 9,6%; etileno, 6,4%; O₂, 3%; N₂, 81%. ¿Qué fracción del etileno que entra al reactor se convierte en óxido de etileno y cuánto queda sin reaccionar?



Base de cálculo: 100 kmol gas residual seco.

Solución: % etileno convertido en óxido de etileno=42,4%
% etileno sin reaccionar=32,9%

-Se trata de un método **muy útil para cálculos reales**, ya que el análisis que se realiza de los gases de salida es un **análisis inmediato**, el cual es muy sencillo de realizar (aunque no es aplicable siempre).

-Este tipo de problemas se resuelven a partir de la **realización de una tabla**:

SALIDA (kmol)	SALIDA (%)	C (kmol)	O (kmol)	H (kmol)	N (kmol)
CO ₂	9,60%	9,6	19,2	-	-
O ₂	3%	-	6	-	-
C ₂ H ₄	6,40%	12,8	-	25,6	-
N ₂	81%	-	-	-	162
TOTAL	100%	22,4	25,2	25,6	162

-Una vez consideradas las salidas, escribimos **tantas ecuaciones de balance (Entradas = Salidas) como elementos tengamos en nuestro caso**, dando lugar a un sistema 4x4):

$$\begin{aligned} N: z * 0,79 * 2 &= 162 \\ O: z * 0,21 * 2 &= 25,2 + w + x \\ C: y * 2 &= 2 * x + 22,4 \\ H: y * 4 &= 25,6 + 2 * w + 4 * x \end{aligned}$$

Quedando: $x = 8,3 \text{ kmol}$; $y = 19,5 \text{ kmol}$; $z = 102,53 \text{ kmol}$ y $w = 9,6 \text{ kmol}$

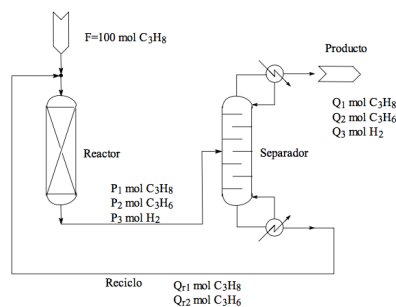
-La conversión del etileno, por tanto: $\chi_{C_2H_4} = \frac{8,3}{19,5} * 100 = 42,4\%$

-Por último, el etileno que queda sin reaccionar: $\%_{C_2H_4_{sinreacc}} = \frac{6,4}{19,5} * 100 = 37,9\%$

Problema 22 (Con reacción química, con recicló)

22.- La deshidrogenación de propano en un reactor catalítico produce propileno según la reacción: $C_3H_8(g) \rightarrow C_3H_6(g) + H_2(g)$. El proceso debe diseñarse para una conversión global de propano (C_3H_8) de 95%. Los productos del reactor se separan en dos flujos: el primero, que contiene H_2 , propileno (C_3H_6) y el 0,555% molar del propano que sale del reactor, se toma como el producto; el segundo flujo, que contiene el resto del propano que no ha reaccionado y 5% de propileno en el flujo de productos, se hace recircular al reactor.

Calcular: a) La composición de la corriente de productos (en % molar) b) El cociente: moles de recicló/moles de alimentación fresca c) La conversión en el reactor en una sola etapa.



Solución: a) 2,6% C_3H_8 ; 48,7% C_3H_6 ; 48,7% H_2 ; b) $R/F=9,00$; c) $\chi_{\text{reactor}}=9,5\%$

a) La composición de la corriente en productos (en % molar)

-Según el dato de conversión global del proceso: $\chi_{C_3H_8} = \frac{100-Q_1}{100} * 100 = 95$; siendo: $Q_1 = 5 \text{ moles}$. Según la estequiometría de la reacción, sabemos que: $Q_2 = 95 \text{ moles}$ y $Q_3 = 95 \text{ moles}$. (Proporciones: $C_3H_8 = 2,6\%$; $C_3H_6 = 48,7\%$; $H_2 = 48,7\%$)

b) Cociente R/F

-Según el dato del enunciado relacionado con la proporción de propano en la corriente de producto con relación a la cantidad que sale del reactor: $P_1 * 0,00555 = Q_1$ siendo $P_1 = 900,9 \text{ mol}$. Si tenemos en cuenta el balance del propano en el separador: $Q_{r1} = P_1 - Q_1 = 895,9 \text{ mol}$

-Y, sabiendo según enunciado que: $Q_{r2} = 0,05 * Q_2 = 4,75 \text{ mol}$

-La relación queda de la siguiente forma: $\frac{R}{F} = \frac{Q_{r1}+Q_{r2}}{F} = 9,00$

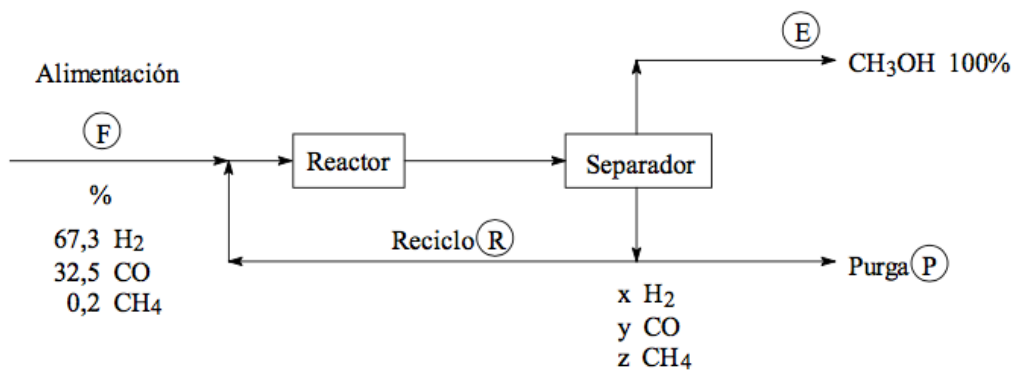
c) Conversión de propano del reactor

-Una vez hallados todos los datos: $\chi_{C_3H_8_{\text{reactor}}} = \frac{(100+895,9)-900,9}{100+895,9} * 100 = 9,5\%$ (Una décima parte de la total del proceso.

Problema 18 (Método de balances por elementos)

18.- Existe considerable interés en la conversión de carbón en productos líquidos más convenientes para una posterior combustión. Dos de los principales gases que se pueden generar bajo condiciones adecuadas por combustión de carbón "in situ" en presencia de vapor de agua son H₂ y CO.

Después del lavado, estos dos gases pueden ser combinados para dar metanol de acuerdo con la siguiente ecuación:



Base: 100 moles de alimentación.

El CH₄ entra en el proceso, pero no participa en la reacción. Se utiliza una corriente de purga para mantener la concentración de metano en la salida del separador en un valor máximo de 3,2% molar. La conversión de CO en el reactor es 18%.

Calcular los moles de reciclo (R), metanol (E) y purga (P) y calcular la composición del gas de purga (x, y, z, fracciones molares de H₂, CO y CH₄ respectivamente).

Dato: Hacer balances totales por elementos (H₂, C y O) y el balance en el reactor de CO o H₂ (no los dos, pues son redundantes).

Solución: R=705,50 mol; E=31,25 mol; P=6,25 mol; x=0,768; y=0,200; z=0,032.

-Para la resolución de este problema, debemos hallar 6 incógnitas. La primera de ellas, la obtenemos de forma directa a partir de un dato proporcionado por el problema; la concentración de metano a la salida del separador:

$$z = 0,032$$

-Por tanto, elaboraremos un sistema de 5 ecuaciones para conseguir hallar el valor de las 5 incógnitas restantes. Podemos obtener 3 balances atómicos en el proceso:

$$\begin{aligned} C: 32,5 + 0,2 &= E + P * (y + 0,032) \\ H: 67,3 * 2 + 0,2 * 4 &= 4 * E + P * (2x + 4 * 0,032) \\ O: 32,5 &= E + P * y \end{aligned}$$



NEGRITA
SOUND
TALENT

BUSCAMOS
AL MEJOR
DJ EMERGENTE
DEL 2017



NEGRITA
SOUND
TALENT

¿SERÁS TÚ EL NUEVO
TALENTO MUSICAL?

Entra en:
www.negrita.es/negritasoundtalent
¡Y participa!

NEGRITA®

#NEGRITASOUNDTALENT

NEGRITA®

PARTICIPA EN

PQdR_P_Balances de materia | Pablo Álvarez Ferre

Además, contamos con la suma de las tres fracciones molares en la corriente de purga P:

$$x + y + z = 1$$

Y, por último, a partir del dato de la conversión de CO en el reactor ($[ENTRADA] - [SALIDA] = [CONSUMO]$):

$$[32,5 + R * y] - [y * (P + R)] = [0,18 * (32,5 + R * y)]$$

Resolviendo el sistema, tenemos: $E = 31,25\text{moles}$; $P = 6,25\text{moles}$; $R = 705,5\text{moles}$; $x = 0,768$; $y = 0,2$.
