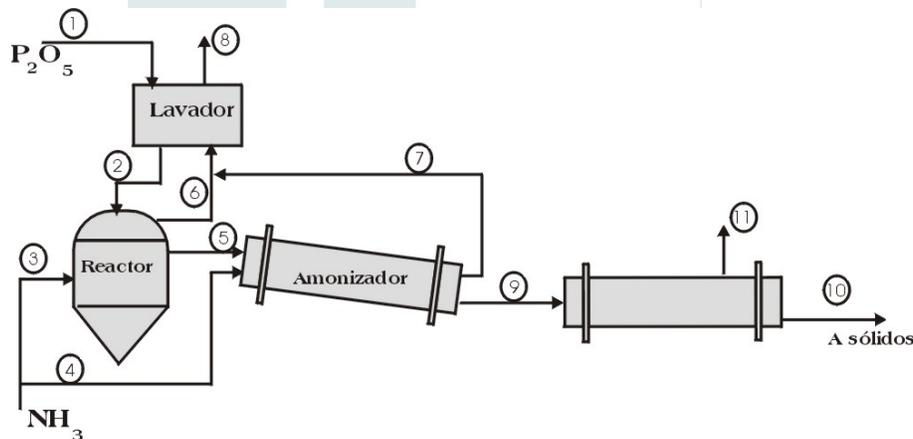


Examen de Tecnología Química Inorgánica.
Problema

Mayo de 2002

La figura muestra una sección del proceso de fabricación de fosfato diamónico (DAP). El ácido fosfórico (①) entra a un lavador para recuperar parte del amoníaco presente en los gases de salida y posteriormente entra (②) a un reactor de neutralización. A ese mismo reactor entra una corriente de amoníaco anhidro (③). A la salida del reactor se obtiene por un lado una corriente líquida de un precipitado de DAP en equilibrio con su solución (⑤) y por otro lado una corriente gaseosa formada por vapor de agua y amoníaco (⑥). La corriente líquida se alimenta a un amonizador-granulador donde se completa la formación de DAP. Para completar la reacción se añade amoníaco anhidro fresco (④). Del amonizador sale una corriente gaseosa (⑦) que se une con la saliente del reactor y se alimentan al lavador para recuperar parte del amoníaco. La otra corriente saliente del amonizador (⑨) se introduce en un secadero. De este sale una corriente vapor (⑪) y una corriente (⑩) con el producto que va a la sección de tratamiento de sólidos para tener el producto listo para su comercialización.



Se pide:

- Calcular la composición de las corrientes ⑤ y ⑥. (2.5 pts.)
- Determinar a que presión debe trabajar el reactor para que se cumplan las condiciones especificadas. (2 pts.)
- Determinar el calor a aportar/eliminar en el conjunto amonizador+secadero para obtener el producto con la humedad especificada (1 %p) (2 pts.).
- Calcular el rendimiento del lavador. (1 pto.)
- Situar en el diagrama ternario la corriente ⑤. Los puntos representativos del precipitado, de la solución y su punto suma. (1 pto.)
- En caso de no tener el dato de la conversión (22 kmol/h), explica cómo se resolvería el problema empleando el diagrama triangular de fases. (NOTA: proceso iterativo) (1.5 pts.)

DATOS:

Corriente (②)

Caudal: 4988kg/h H_3PO_4 55.3 %p

NH_3 2%p

Temperatura: 55°C

Calor específico de la corriente: 0.6kcal/kg°C

Corriente (③)

Caudal molar: 48.4kmol/h.

Temperatura: 50°C.

Calor específico: 0.5kcal/kg°C.

Reactor

La relación molar en la solución ente el NH_3 y H_3PO_4 es de 1,54.

Se convierten 22kmol/h de ácido fosfórico.

Calor de reacción a 25°C: -51440 kcal/kmol

NO se considere el calor de dilución del ácido fosfórico.

Reactor de mezcla completa.

Corriente (⑤)

Temperatura: 75°C

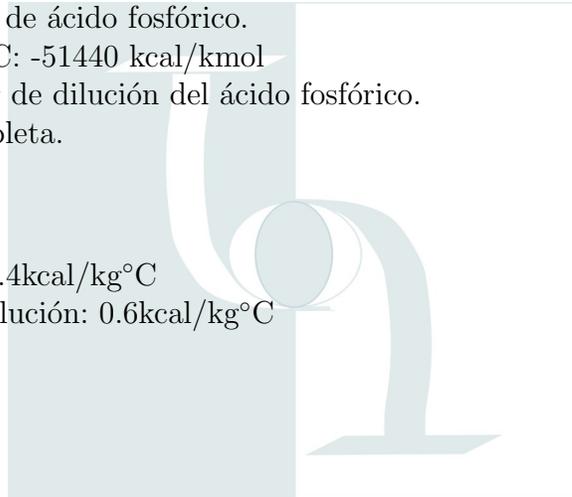
Calor específico DAP: 0.4kcal/kg°C

Calor específico de la solución: 0.6kcal/kg°C

Corriente (④)

Caudal 8.2kmol/h

Temperatura 50°C.



Amonizador-granulador Presión de trabajo 0.4 bar.

NO se considere el calor de dilución del ácido fosfórico.

Temperatura 80°C.

Calor específico amoníaco 80°C: 0.5kcal/kg°C

Reactor de mezcla completa.

Corriente (⑩)

DAP con 1 %p de humedad.

Calor específico DAP húmedo: 0.4kcal/kg°C

Temperatura 80°C

Secadero

Presión de trabajo 0.4 bar.

Temperatura 80°C.

Diagramas

Diagrama de Mollier del vapor de agua.

Diagrama de presión de vapor del amoníaco en función de la relación molar entre el amoníaco y el ácido fosfórico en solución.

Diagrama ternario de fases NH_3 , H_3PO_4 , H_2O

Solución

La corriente ② está formada por:

$$\text{H}_3\text{PO}_4 \quad 4988 * 0.553 = 2760.6 \text{ kg/h} \rightarrow 2760.6 / 98 = 28.2 \text{ kmol/h}$$

$$\text{NH}_3 \quad 4988 * 0.02 = 100 \text{ kg/h} \rightarrow 5.9 \text{ kmol/h}$$

$$\text{Agua} \quad 4988 - 2760.6 - 100 = 2127.6 \text{ kg/h}$$

Haciendo un balance de materia al NH_3 tenemos:

$$F_{5,\text{NH}_3} = F_{3,\text{NH}_3} + F_{2,\text{NH}_3} - 2 * x - F_{6,\text{NH}_3} = 48,4 + 5,9 - 2 * 22 - F_{6,\text{NH}_3}$$

$$F_{5,\text{NH}_3} = 10,3 - F_{6,\text{NH}_3}$$

Haciendo un balance al fosfórico tenemos:

$$F_{5,\text{H}_3\text{PO}_4} = F_{2,\text{H}_3\text{PO}_4} - x = 28,2 - 22 = 6,2$$

Tenemos que la relación entre el NH_3 y el H_3PO_4 en el reactor es de 1.54, luego:

$$1,54 = \frac{10,3 - F_{6,\text{NH}_3}}{6,2}, \text{ de donde: } F_{6,\text{NH}_3} = 0,75 \text{ kmol/h}$$

La corriente ⑤ queda con la siguiente composición: H_3PO_4 6.2 kmol/h \rightarrow 607.6kg/h

$$\text{NH}_3 \quad 9.55 \text{ kmol/h} \rightarrow 162.3 \text{ kg/h}$$

$$\text{DAP} \quad 22 \text{ kmol/h} \rightarrow 2904 \text{ kg/h}$$

Agua ???

Tenemos dos incógnitas (el agua en cada corriente) para determinar las corrientes ⑤ y ⑥, necesitamos dos ecuaciones que son: balance materia al agua en el reactor y balance entálpico en el reactor. (NOTA: Realmente se puede resolver el problema sin realizar el balance entálpico, empleando el diagrama triangular de fases. En el mismo podemos ver para una solución de relación NH_3 H_3PO_4 de 1.54 la proporción de agua que le corresponde y en función y con esto tendríamos el agua de la corriente ⑤. El agua de la corriente ⑥ se hallaría por balance de materia. Esto implica que hay un dato extra en el problema y que por lo tanto se podría haber resuelto sin por ejemplo el dato de los moles que reaccionan.)

$$F_{2,\text{H}_2\text{O}} = F_{5,\text{H}_2\text{O}} + F_{6,\text{H}_2\text{O}} \rightarrow 2127,6 = F_{5,\text{H}_2\text{O}} + F_{6,\text{H}_2\text{O}}$$

Para el balance entálpico se toma una temperatura de referencia de 25°C . Para calcular la entalpía del vapor de la corriente ⑥ sólo conocemos la temperatura, falta la presión. Se toma una entalpía media a esa temperatura (apenas varía según el diagrama de Mollier), de 2650kJ/kg, que equivale a 636kcal/kg. Posteriormente se puede comprobar esta suposición una vez calculada la presión de trabajo. $m_2h_2 + m_3h_3 = m_5h_5 + m_6h_6 + m_{\text{reac}}H_{\text{reac}}$

$$4988 * 0,6 * (55 - 25) + 48,4 * 17 * 0,5 * (50 - 25) = 2904 * 0,4 * (75 - 25) +$$

$$+(6,2 * 98 + 9,55 * 17 + F_{5,\text{H}_2\text{O}}) * 0,6 * (75 - 25) + F_{6,\text{H}_2\text{O}} * (636 - 25) +$$

$$+ 0,75 * 17 * 0,5 * (75 - 25) - 22 * 51440$$

De donde se obtiene:

$$F_{5,\text{H}_2\text{O}} = 257,7 \text{ kg/h}$$

$$F_{6,\text{H}_2\text{O}} = 1869,9 \text{ kg/h}$$

En el diagrama de la presión de vapor entrando con la relación 1.54 y a 75°C obtenemos un presión parcial del NH₃ de 2mmHg.

$$P_p = y_{6,\text{NH}_3} * P_T$$

$$y_{6,\text{NH}_3} = \frac{0,75}{0,75 + \frac{1869,9}{18}} = 0,0072$$

$P_T = 2/0,0072 = 277,78\text{mmHg} \rightarrow 277,78/760 = 0,365\text{atm}$ La presión obtenida confirma que la suposición hecha para el cálculo de la entalpía del vapor de la corriente (6) es válida.

Para calcular el calor a aportar o suministrar se hace un balance entálpico al conjunto amonizador+secadero (dado que trabajan a la misma presión y temperatura) , pues así conocemos todas las corrientes (conocemos que el total del agua que no se queda en el DAP húmedo sale por las corrientes 7 y 11 e igualmente el amoníaco en exceso.

DAP en la corriente 10, dado que ahora reaccionan 6.2kmol/h tenemos un total:

$2904 + 6.2 * 132 = 3722.4\text{kg/h}$, dado que tiene un 1 %p de humedad, el agua presente es

$3722.4 * 0.01 / 0.99 = 37.6\text{kg/h}$. Luego la cantidad total de DAP húmedo es $3722.4 + 37.6 = 3760\text{kg/h}$.

El agua que sale por 7 y 11 es:

$$F_{7+11,\text{H}_2\text{O}} = F_{5,\text{H}_2\text{O}} - F_{10,\text{H}_2\text{O}} = 257,7 - 37,6 = 220,1\text{kg/h}$$

Tenemos que hallar el NH₃ que queda en exceso y que por tanto se recicla al lavador:

$$F_{5,\text{NH}_3} + F_{4,\text{NH}_3} - 2 * x' = F_{7,\text{NH}_3}$$

Lo que reacciona es (dado que se completa la reacción):

$$x' = F_{5,\text{H}_3\text{PO}_4} = 6,2\text{kmol/h}$$

Luego el NH₃ en exceso: $9.55 + 8.2 - 2 * 6.2 = 5.35\text{kmol/h} \rightarrow 90.95\text{kg/h}$

$$m_5 h_5 + m_4 h_4 = m_{10} h_{10} + m_{7+11} h_{7+11} + m_{\text{reac}} h_{\text{reac}} + Q$$

$$2904 * 0,4 * (75 - 25) + (6,2 * 98 + 9,55 * 17 + 257,7) * 0,6 * (75 - 25) + 8,2 * 17 * 0,5 * (50 - 25) =$$

$$= 3760 * 0,4 * (80 - 25) + 220,1 * (638 - 25) + 90,95 * 0,5 * (80 - 25) - 6,2 * 51440 + Q$$

$$Q = 189440\text{kcal/h.}$$

Para calcular el rendimiento del lavador :

$$\eta = \frac{\text{NH}_3, \text{recup}}{\text{NH}_3, \text{alim}} = \frac{100}{0,75 * 17 + 90,95} = 0,964$$

Rendimiento del lavador 96.4 %p.

En el caso de no tener el dato de la conversión el procedimiento sería el siguiente:

1. Situar en el diagrama ternario los puntos correspondientes a la solución (relación 1.54) y a DAP. Unirlos por una recta.
2. Escoger un punto de la recta anterior. Por la regla de la palanca ver qué cantidad del total le corresponde a DAP. Esta cantidad será la que ha reaccionado con lo cual tenemos ya la conversión.
3. Realizar las mismas operaciones que se han hecho en este caso, balances de materia y balance de entalpía. Si el balance de entalpía no cuadra volver al primer punto, tomar un nuevo punto de la recta DAP-solución.