

Una planta de producción de ácido nítrico diluido (60%p), como la esquematizada en la figura, es alimentada con 5t/h de amoníaco gas.

Reacción: La combustión del amoníaco es total, sin embargo sólo un 98% del mismo es convertido según la reacción (I). El resto se convierte a partes iguales según las reacciones competitivas(II) y (III). El aire primario se introduce con un 5% de exceso mientras que el aire secundario se introduce estequiométrico para la oxidación del óxido nítrico.

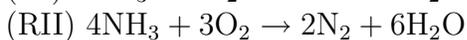
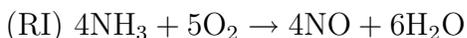
Enfriamiento: En el enfriamiento se empieza a producir la oxidación del NO, consumiéndose un 50% del oxígeno sobrante en la reacción. Igualmente se produce algo de absorción de NO₂(g) en agua(g) formando ácido nítrico, se absorbe el 80% del NO₂ formado en esta oxidación. La temperatura media de trabajo en el enfriador es de 45°C . En caso de condensarse algún producto en este equipo, este condensado es retirado del proceso.

Oxidación: La oxidación tiene un rendimiento del 100%.

Absorción: La absorción tiene un rendimiento del 98%.

Datos:

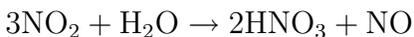
- Reacciones de oxidación de amoníaco:



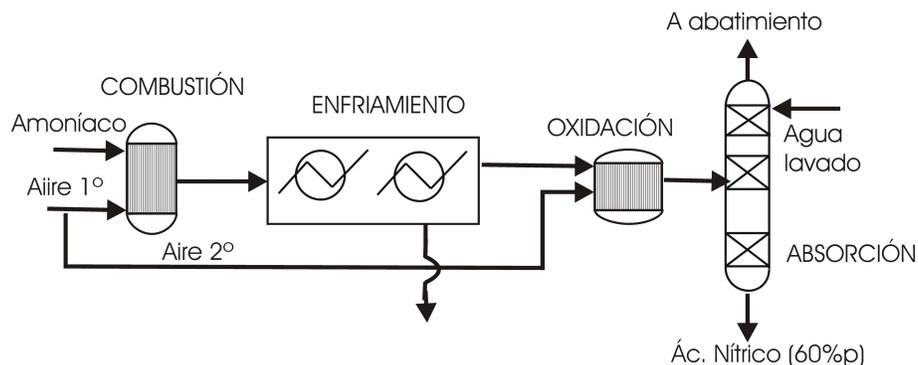
Reacción de oxidación del NO



Reacción de absorción



- Diagramas P-T del ácido nítrico y del agua.



Se pide:

1. Calcular la cantidad de aire primario y secundario necesario para el proceso.(2.5 ptos)
2. Si hay condensación en el enfriador y en caso positivo su caudal y composición.(2.5 ptos)
3. La producción de ácido nítrico y la cantidad de agua de lavado necesaria en la absorción.(2.5 ptos)
4. La composición de los gases que salen por cabeza de la absorción.(2.5 ptos)

NOTA: Considérese que no se produce dimerización del NO_2

Solución

La alimentación de amoníaco es de 5t/h que en moles: $5000/17=294.1\text{kmol/h}$. El aire estequiométrico será el necesario según las reacciones I y II:

$$\text{O}_2 \text{ Según RI: } 5/4 \cdot 294.1 \cdot 0.98 = 360.3\text{kmol/h}$$

$$\text{O}_2 \text{ Según RII: } 3/4 \cdot 294.1 \cdot 0.01 = 2.2\text{kmol/h}$$

Luego O_2 total: $360.3+2.2=362.5\text{kmol/h}$. Como el aire alimentado está en un exceso de un 5% el O_2 necesario total será: $1.05 \cdot 362.5=380.6\text{kmol/h}$. El N_2 que le acompaña es:

$$380.6 \cdot 0.79/0.21 = 1432\text{kmol/h} \Rightarrow \text{Aire} = 1432 + 380.6 = 1812.5\text{kmol/h}$$

REACTOR

Produce:

$$\text{RI: NO} = 0.98 \cdot \text{NH}_3 = 294.1 \cdot 0.98 = 288.2\text{kmol/h}$$

$$\text{RI,RII yRIII: H}_2\text{O} = 6/4 \cdot \text{NH}_3 = 6/4 \cdot 294.1 = 441.1\text{kmol/h}$$

$$\text{RI y RII: N}_2 = 0.01 \cdot 2/4 \cdot \text{NH}_3 + 0.01 \cdot 5/4 \cdot \text{NH}_3 = 1.5 + 3.7 = 5.2\text{kmol/h}$$

Consume:

$$\text{RI,RII y RIII: NH}_3 = 294.1\text{kmol/h}$$

$$\text{RI y RII: O}_2 = 0.98 \cdot 5/4 \cdot 294.1 + 0.01 \cdot 3/4 \cdot 294.1 = 360.3 + 2.2 = 362.5\text{kmol/h}$$

$$\text{RIII: NO} = 6/4 \cdot 0.01 \cdot 294.1 = 4.4\text{kmol/h}$$

	kmol/h
Sale:	NH_3 0
	H_2O 441.1
	N_2 $1432+5.2=1437.2$
	O_2 $380.6-362.5=18.1$
	NO $288.2-4.4=283.8$

ENFRIADOR

Se consume el 50% del O_2 restante luego la composición debida a la oxidación es :

	kmol/h
H_2O	441.1
N_2	1437.2
O_2	$0.5 \cdot 18.1=9.05$
NO	$283.8-2 \cdot 9.05= 264.9$
NO_2	$9.05 \cdot 2=18.1$

Ahora teniendo en cuenta la reacción de absorción sobre el 80% del NO_2 formado:

	kmol/h
H_2O	$441.1-1/3 \cdot 0.8 \cdot 18.1=436.3$
N_2	1437.2
O_2	9.05
NO	$264.9+1/3 \cdot 0.8 \cdot 18.1= 270.5$
NO_2	$18.1 \cdot 0.2=3.6$
HNO_3	$2/3 \cdot 0.8 \cdot 18.1=9.6$

Para ver lo que condensa hay que comprobar si las presiones parciales del agua y del ácido nítrico son superiores a sus respectivas presiones de vapor, en cuyo caso condensarán hasta que la presión parcial iguale a la presión de vapor.

$$y_{\text{H}_2\text{O}} = 436.3 / (436.3 + 1437.2 + 9.05 + 270.5 + 3.6 + 9.6) = 0.2$$

La presión parcial será (teniendo en cuenta que la presión total es la atmosférica)

$P_{\text{H}_2\text{O}} = y_{\text{H}_2\text{O}} * P = 0.2 * 1 = 0.2\text{atm}$. La presión de vapor a la temperatura de 45°C según es de 0.095atm, luego condensará agua.

$$y_{\text{HNO}_3} = 9.6 / (436.3 + 1437.2 + 9.05 + 270.5 + 3.6 + 9.6) = 0.0044$$

La presión parcial será (teniendo en cuenta que la presión total es la atmosférica)

$P_{\text{HNO}_3} = y_{\text{HNO}_3} * P = 0.0044 * 1 = 0.0044\text{atm}$. La presión de vapor a la temperatura de 45°C según es de 0.22atm, luego en un principio no condensará nítrico (hay que comprobar que tras la condensación de agua la nueva presión parcial del nítrico sigue siendo inferior a la presión de vapor).

La cantidad de agua que condensa será:

$0.095 = \text{H}_2\text{O}_{\text{vap}} / (\text{H}_2\text{O}_{\text{vap}} + 1437.2 + 9.05 + 270.5 + 3.6 + 9.6)$ de aquí se obtiene que el agua que permanece en fase vapor es: $\text{H}_2\text{O}_{\text{vap}} = 181.5\text{kmol/h}$ por tanto condensan $436.3 - 181.5 = 254.8\text{kmol/h}$.

La composición del gas saliente del enfriador queda:

	kmol/h
H ₂ O	181.5
N ₂	1437.2
O ₂	9.05
NO	270.5
NO ₂	3.6
HNO ₃	9.6

La presión parcial del nítrico sigue siendo inferior a su presión de vapor por lo tanto no condensa nada.

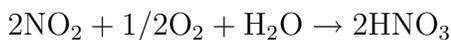
OXIDACIÓN

Como la oxidación del NO es completa eso nos da una indicación del aire secundario que hay que introducir, pero no hay que olvidar que el aire secundario total será éste más el necesario a introducir en la torre de absorción donde también se produce oxidación del NO formado, ya que de otro modo sería tirar dinero por la cabeza de la torre.

O₂ necesario para oxidar todo el NO presente: $270.5 / 2 - 9.05 = 126.2\text{kmol/h}$.

El NO₂ saliente será: $3.6 + 270.5 = 274.1\text{kmol/h}$.

Sumando las reacciones de oxidación y de absorción tenemos la reacción global que sucede en la torre:



Como el rendimiento es del 98% tendremos que el ácido formado es:

$$\text{HNO}_3 = 9.6 + 0.98 * 274.1 = 278.2 \text{ kmol/h.}$$

El resto de componentes presentes:

$$\text{NO}_2 = 0.02 * 274.1 = 5.5 \text{ kmol/h}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 181.5 - 1/2 * 0.98 * 274.1 = 47.2 \text{ kmol/h}$$

El aire secundario total necesario es: $\text{O}_{2\text{secundario}} = 126.2 + 1/4 * 274 = 194.7 \text{ kmol/h}$

$$\text{N}_{2\text{secundario}} = 194.7 * 0.79/0.21 = 732.4 \text{ kmol/h}$$

$$\text{Aire secundario} = 927.1 \text{ kmol/h.}$$

La producción de ácido nítrico es de $278.2 * 63 = 17527 \text{ kg/h}$, si la concentración es en peso del 60% se necesitarán $17527 * 0.4/0.6 = 11685 \text{ kg/h}$ de agua, como se tenían $47.2 * 18 = 849.6$ el agua de lavado será $11685 - 849.6 = 10835 \text{ kmol/h}$.

La composición de los gases de cabeza queda:

	kmol/h
N ₂	1437.2 + 732.4 = 2169.6
O ₂	0.02 * 1/4 * 274 = 1.37
NO	0
NO ₂	5.5