

---

**BALANCE DE MATERIA (5 puntos)**

El catalizador gastado en un reactor de craqueo catalítico en lecho fluido (FCC) se lleva al regenerador para su reactivación. El coque depositado sobre el catalizador en el reactor se elimina quemándolo con aire, y el gas de chimenea producido se ventea. El coque es una mezcla de carbono y alquitranes de alto peso molecular que se pueden considerar como hidrocarburos, es decir, se puede considerar que el coque está formado sólo por carbono e hidrógeno. Para el siguiente análisis de un gas de chimenea (en base seca) proveniente de la regeneración de un catalizador de FCC, calcule el **% en peso de hidrógeno en el coque** depositado sobre el catalizador de FCC:

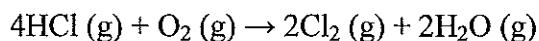
**Dato:** análisis del gas de chimenea en base seca:  $\text{CO}_2 = 12.0\% \text{ v/v}$ ;  $\text{CO} = 6.0\% \text{ v/v}$ ;  $\text{O}_2 = 0.7\% \text{ v/v}$ ;  $\text{N}_2 = 81.3\% \text{ v/v}$ .

Suponga que todo el oxígeno no incluido en el gas de chimenea reaccionó con el hidrógeno del coque para formar agua. Suponga además que la composición del aire es  $79.02\% \text{ v/v}$  de nitrógeno y  $20.98\% \text{ v/v}$  de oxígeno.

**Base de cálculo:** 100 kmol de gas de chimenea seco.

**BALANCE DE ENERGÍA (5 puntos)**

La reacción siguiente se utilizó hace tiempo para la fabricación de cloro:



Cuando la proporción de aire a HCl es de 5 a 1 sobre una base molar en la entrada del reactor, se ha encontrado que el 80 % del HCl se convierte en cloro y los gases de salida están a 386 °C. Calcule el calor absorbido o desprendido (heat duty) sobre la base de 1 mol de HCl (g) de entrada al reactor, si las condiciones de reacción son las anteriores y el aire y el HCl entran al reactor a 25 °C.

**Datos: Base de cálculo: 1 mol de HCl a la entrada del reactor.** Aire: 20 %v/v de O<sub>2</sub> y 80 % v/v de N<sub>2</sub>.

| Sustancia            | $\Delta H_f^\circ$<br>(kJ/mol) | $C_p$<br>(J/mol °C) |
|----------------------|--------------------------------|---------------------|
| HCl (g)              | -92.31                         | 29.13               |
| H <sub>2</sub> O (g) | -241.83                        | 33.46               |
| O <sub>2</sub> (g)   | -                              | 29.10               |
| N <sub>2</sub> (g)   | -                              | 29.00               |
| Cl <sub>2</sub> (g)  | -                              | 33.60               |

Balanza de materia: base de cálculo = 1 kmol gas de chimenea seco.

| GAS             | kmol. | C    | H | O    | N     |
|-----------------|-------|------|---|------|-------|
| CO <sub>2</sub> | 12.0  | 12.0 | — | 24.0 | —     |
| CO              | 6.0   | 6.0  | — | 6.0  | —     |
| O <sub>2</sub>  | 0.7   | —    | — | 1.4  | —     |
| N <sub>2</sub>  | 81.3  | —    | — | —    | 162.6 |
| TOTAL           | 100.0 | 18.0 | — | 31.4 | 162.6 |

### Ecuaciones

|   | <u>ENTRADA</u>                          | = | <u>SALIDA</u> |     |
|---|-----------------------------------------|---|---------------|-----|
| N | $A \cdot 0,7902 \cdot 2$                | = | 162,6         | (1) |
| O | $A \cdot 0,2098 \cdot 2$                | = | 31,4 + W      | (2) |
| C | $\frac{M_C \text{ (en coque)}}{12,011}$ | = | 18,0          | (3) |
| H | $\frac{M_H \text{ (en coque)}}{1,008}$  | = | 2W.           | (4) |

A = Aire (kmol)

W = Agua (kmol)

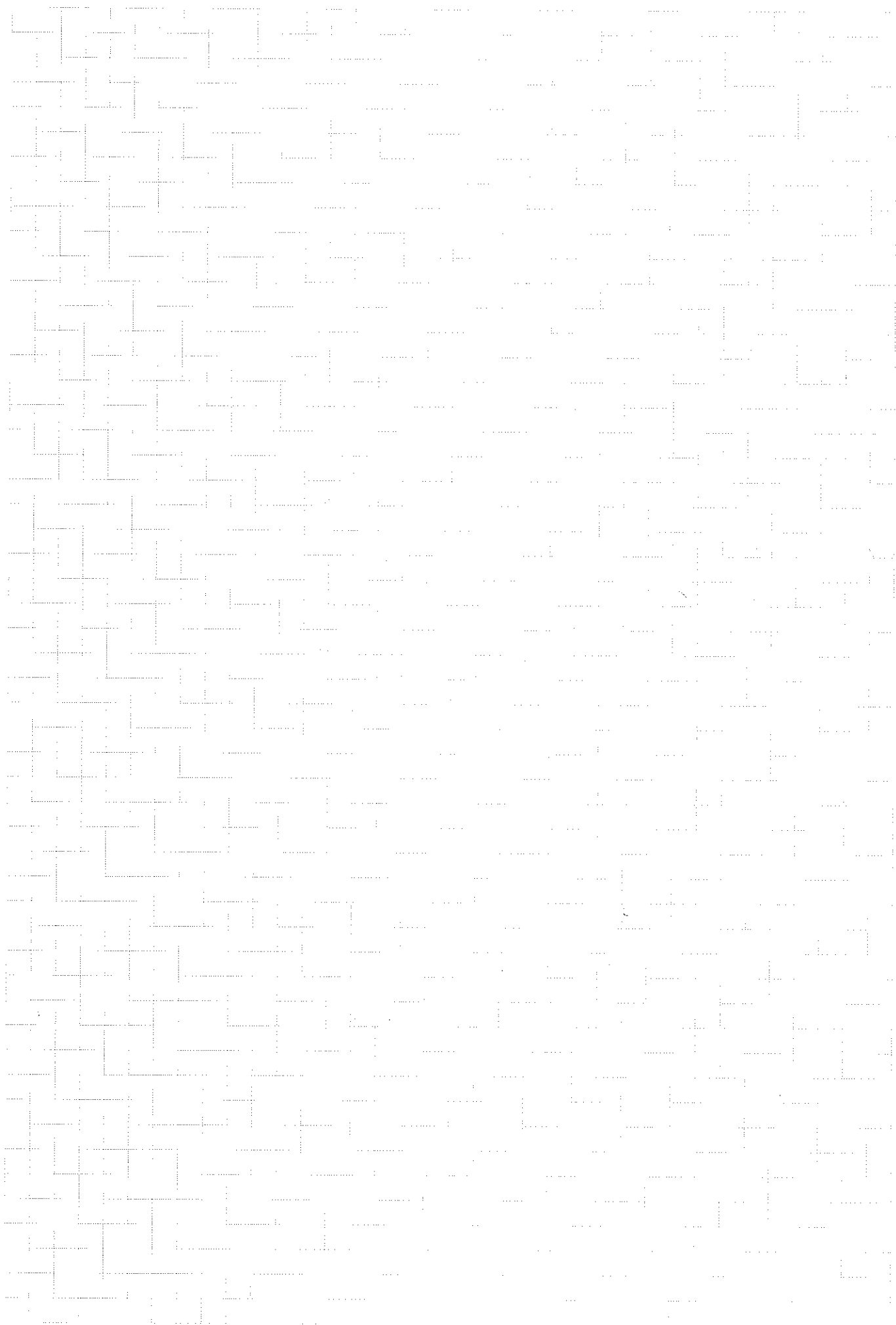
$$A = 102,89 \text{ kmol. , de ecuación (1)}$$

$$W = 11,77 \text{ kmol. , de ecuación (2)}$$

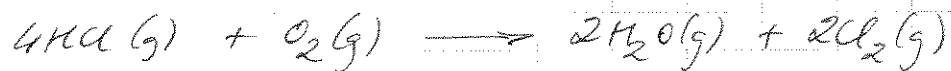
$$M_C \text{ (en coque)} = 18,0 \times 12,011 = 216,2 \text{ kg. (de eq. 3)}$$

$$\begin{aligned} M_H \text{ (en coque)} &= 2 \cdot 11,77 \text{ kmol} \cdot 1,008 \text{ kg/kmol} = \\ &= 23,73 \text{ kg (de ecuación 4)} \end{aligned}$$

$$\% H \text{ (en coque)} = \frac{23,73 \text{ kg}}{23,73 \text{ kg} + 216,2 \text{ kg}} \times 100 = \underline{\underline{9,9\%}}$$



# Balauca de energia.



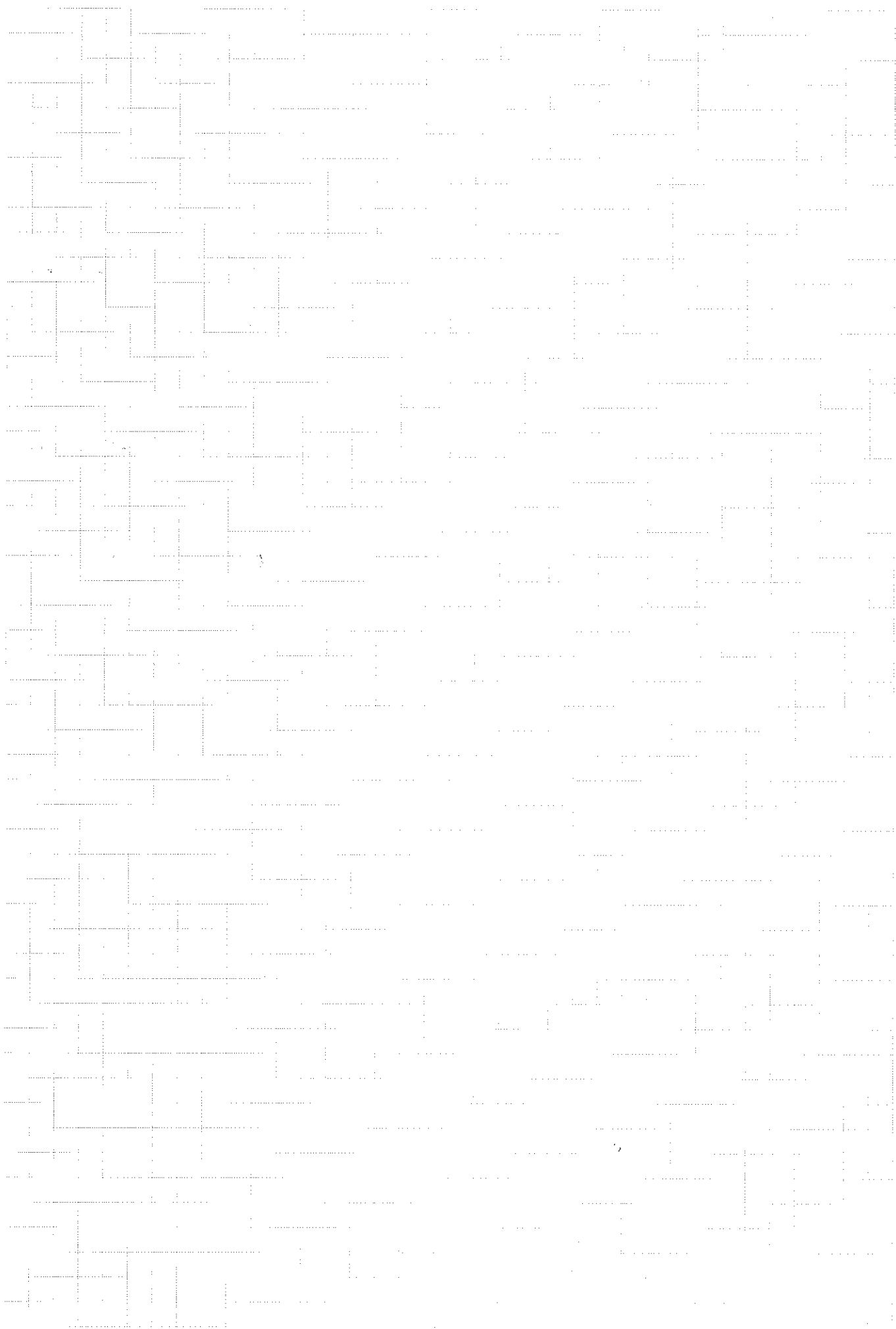
| subst.              | $n_E$ | $n_E$ | $n_S$ | $H_S$                                  |
|---------------------|-------|-------|-------|----------------------------------------|
| HCl                 | 1.    | —     | 0,20  | $29,13 \cdot 10^{-3} (386-25) = 10,52$ |
| O <sub>2</sub>      | 1,7   | —     | 0,80  | $29,10 \cdot 10^{-3} (386-25) = 10,50$ |
| N <sub>2</sub>      | 4,5   | —     | 4,0   | $29,00 \cdot 10^{-3} (386-25) = 10,47$ |
| H <sub>2</sub> O(g) | —     | —     | 0,40  | $33,46 \cdot 10^{-3} (386-25) = 12,08$ |
| Cl <sub>2</sub>     | —     | —     | 0,40  | $33,60 \cdot 10^{-3} (386-25) = 12,13$ |

$$\Delta H_r^\circ = 2\Delta H_f^\circ \text{H}_2\text{O(g)} - 4\Delta H_f^\circ \text{HCl(g)} = 2(-241,83) - 4(-92,31)$$

$$= -114,42 \text{ kJ/mol.}$$

$$\Delta H_{\text{heat duty}} = \frac{(-114,42 \text{ kJ/mol}) \cdot 0,8 \text{ mol}}{4} + 62,068 \text{ kJ}$$

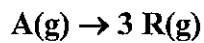
$$= -22,884 \text{ kJ} + 62,068 \text{ kJ} = \underline{\underline{39,184 \text{ kJ}}}$$



---

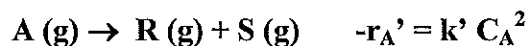
**REACTORES 1 (5 puntos)**

Un gas que contiene  $0,5 \text{ mol A/m}^3$  con un 25 % molar de A y 75% molar de inerte alimenta a razón de  $4 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  a un reactor de flujo mezclado con cesta tipo Carberry que contiene 5 kg de catalizador, siendo la composición de salida de  $0,1 \text{ mol A/m}^3$ . Hallar la constante de velocidad (con sus unidades) para una cinética de orden 2.



**REACTORES 2 (5 puntos)**

- a) La descomposición del reactivo gaseoso A con un catalizador sólido tiene lugar según la reacción:



Un reactor tubular de planta piloto empaquetado con 2 kg de catalizador se alimenta con 200 L/h de A puro a 20 atm y 300 °C. La conversión del reactivo A es del 75 %. Calcule el valor de la constante de velocidad aparente  $k'$  (con sus unidades).

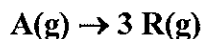
- b) En una planta industrial se desean tratar 2000 L/h de una alimentación gaseosa constituida por 50% molar de A y 50% molar de inertes a 40 atm y 300 °C, para obtener un 95 % de conversión de A. Calcule el peso de catalizador sólido requerido.



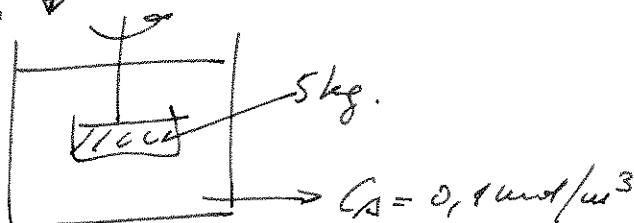
## REACTORES 1 (5 puntos)

Un gas que contiene  $0,5 \text{ mol A/m}^3$  con un 25 % molar de A y 75% molar de inerte alimenta a razón de  $4 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  a un reactor de flujo mezclado con cesta tipo Carberry que contiene 5 kg de catalizador, siendo la composición de salida de  $0,1 \text{ mol A/m}^3$ . Hallar la constante de velocidad (con sus unidades) para una cinética de orden 2.

$$C_{A0} = 0,5 \text{ mol/m}^3$$



$$v_0 = 4 \text{ m}^3/\text{h}$$



$$k' \cdot C_{A0} = \frac{X_A (1 + E_A X_A)^2}{(1 - X_A)^2}$$

$$E_A = \frac{V_{X_A=1} - V_{X_A=0}}{V_{X_A=0}} = \frac{150 - 100}{100} = 0,5$$

|           | $n_A$ | $n_R$ | $n_i$ | $n_{TOT.}$ |
|-----------|-------|-------|-------|------------|
| $X_A = 0$ | 25    | 0     | 75    | 100        |
| $X_A = 1$ | 0     | 75    | 75    | 150        |

$$X_A = \frac{C_{A0} - C_A}{C_{A0} + E_A C_A} = \frac{0,5 - 0,1}{0,5 + 0,5 \times 0,1} = \frac{0,4}{0,55} = 0,73$$

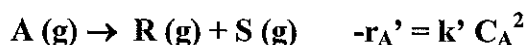
$$k' \cdot \frac{5 \text{ kg.}}{4 \text{ m}^3/\text{h}} \cdot 0,5 \text{ mol/m}^3 = \frac{0,73 (1 + 0,5 \times 0,73)^2}{(1 - 0,73)^2} = \frac{1,36}{0,0729}$$

$$k' \cdot 1,25 \frac{\text{kg. mol. h}}{(\text{m}^3)^2} \cdot 0,5 \text{ mol/m}^3 = 18,66$$

$$k' = 29,85 \frac{(\text{m}^3)^2}{\text{kg. mol. h}}$$

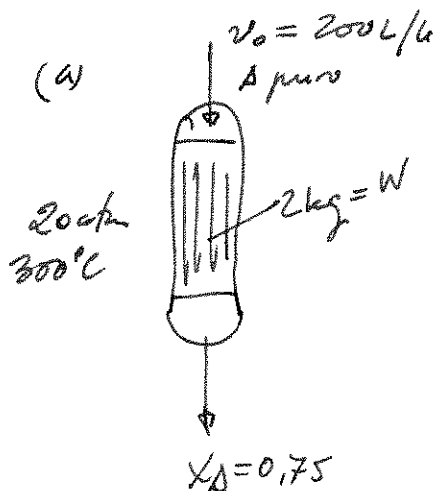
REACTORES 2 (5 puntos)

- a) La descomposición del reactivo gaseoso A con un catalizador sólido tiene lugar según la reacción:



Un reactor tubular de planta piloto empaquetado con 2 kg de catalizador se alimenta con 200 L/h de A puro a 20 atm y 300 °C. La conversión del reactivo A es del 75 %. Calcule el valor de la constante de velocidad aparente  $k'$  (con sus unidades).

- b) En una planta industrial se desean tratar 3000 L/h de una alimentación gaseosa constituida por 50% molar de A y 50% molar de inertes a 40 atm y 300 °C, para obtener un 95 % de conversión de A. Calcule el peso de catalizador sólido requerido.



|           | $n_A$ | $n_R$ | $n_S$ | $n_i$ | $n_{TOT}$ |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| $X_A = 0$ | 1     | 0     | 0     | 0     | 1         |
| $X_A = 1$ | 0     | 1     | 1     | 0     | 2         |

$$E_A = \frac{2-1}{1} = 1.$$

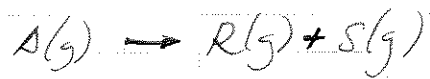
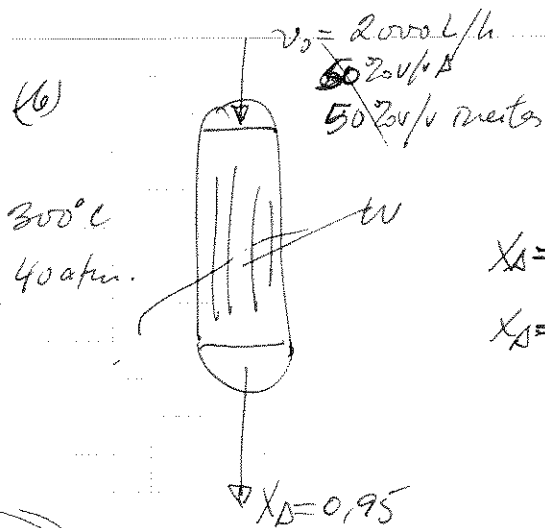
$$C_{A0} = \frac{20 \text{ atm}}{0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 573 \text{ K}} = 0,426 \text{ mol/L}.$$

$$\tau' = \frac{W}{v_0} = \frac{2 \text{ kg}}{200 \text{ L/h}} = 0,01 \frac{\text{kg} \cdot \text{h}}{\text{L}}$$

$$k' \cdot 0,01 \frac{\text{kg} \cdot \text{h}}{\text{L}} \cdot 0,426 \text{ mol/L} = 2(1+1) \ln(1-0,75) + 0,75 + 2^2 \frac{0,75}{1-0,75} = 7,20$$

$$k' = 1691,3 \frac{\text{L}^2}{\text{kg} \cdot \text{h} \cdot \text{mol}}.$$

(b)



|           | $n_A$ | $n_R$ | $n_S$ | $n_i$ | $n_{TOT.}$ |
|-----------|-------|-------|-------|-------|------------|
| $X_A = 0$ | 50    | 0     | 0     | 50    | 100        |
| $X_A = 1$ | 0     | 50    | 50    | 50    | 150        |

$$\varepsilon_A = \frac{150 - 100}{100} = 0.5$$

$$C_{A0} = \frac{40 \cdot 0.5 \text{ atm}}{0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 573 \text{ K}} = 0.426 \text{ mol/L.}$$

$$K' \cdot \varepsilon' \cdot C_{A0} = 2 \cdot 0.5 (1 + 0.5) \ln(1 - 0.95) + 0.5^2 \cdot 0.95 + \frac{(0.5 + 1)^2 \cdot 0.95}{1 - 0.95} = 38.494.$$

$$1691.3 \frac{\text{kg} \cdot \text{mol}}{\text{kg} \cdot \text{mol}} \cdot \frac{W}{2000 \text{ L/h}} \cdot 0.426 \text{ mol/L} = 38.494$$

$$W = 106.9 \text{ kg.}$$

