

PROBLEMAS TEMA IV.

DISOLUCIONES; PROPIEDADES COLIGATIVAS

1.- Se prepara una disolución de etanol en agua disolviendo 10 mL de etanol C_2H_5OH (d 0.789 g/mL) en un volumen de agua suficiente para obtener 100 mL de disolución con densidad 0.982 g/mL

Cual es la concentración de etanol en dicha disolución expresada en:
Porcentaje en volumen, porcentaje en masa, porcentaje masa/volumen, fracción molar, porcentaje molar, molaridad y molalidad.

Solución: 10%, 8.03%, 7.89%, 0.033, 3.3%, 1.71 M, 1.89 m.

2.- Cuantos gramos de H_2 deben utilizarse para disolver 50.0 gramos de sacarosa y preparar una disolución 0.100 m de $C_{12}H_{22}O_{11}$.

Solución: $1.46 \cdot 10^3$ g.

3.- La densidad de una disolución acuosa de metanol (CH_3OH) 2.45M es 0.976 g/mL. ¿Cuál es la molalidad de la disolución? Pm del etanol 32.04 g

Solución: 898 g.

4.- Cual es la molalidad de una disolución de ácido fosfórico (H_3PO_4) al 35.4% (en masa)

Pm 97.99

Solución: 5.59m

5.- Se dispone de las siguientes disoluciones:

- A) 0.1 m de azúcar en agua
- B) 0.1 m de alcohol metílico en alcohol etílico
- C) 0.1 m de alcohol etílico en benceno
- D) 0.1 m de benceno en tetracloruro de carbono

Justificar la validez de las siguientes afirmaciones:

I) Todas las disoluciones congelaran a la misma temperatura

II) Todas congelarán a distinta temperatura

III) Solamente A congelará a $0^\circ C$.

IV) Todas congelarán a $0^\circ C$.

Solución: I (F), II (V), III (F), IV (F)

6.- Una disolución acuosa al 0.20 % en peso de una sustancia de composición $(CH_2O)_x$, que no se asocia ni disocia, presenta a $20^\circ C$ un descenso de presión de vapor de 0.0035 mm Hg.

Calcular:

- a) La fórmula de dicha sustancia.
- b) La presión osmótica de la disolución.
- c) La constante crioscópica molal.
- d) La temperatura de congelación de dicha disolución acuosa.
- e) En qué condiciones se podría realizar osmosis inversa.

DATOS: Presión de vapor del agua a 20 °C: 17.535 mm Hg; calor latente de fusión del agua: 80 cal/g. Suponer que la disolución acuosa tiene una densidad de 1 g/mL
 Solución: a) $C_6H_{12}O_6$; b) $p = 202 \text{ mm Hg}$; c) $K_c = 1.853 \text{ K/molal}$; d) $-0.0205 \text{ }^\circ\text{C}$

7.- Se desea preparar un anticongelante para el circuito cerrado de refrigeración de un automóvil, disponiéndose de glicerina (1,2,3-propanotriol, T_e 290 °C) y etilenglicol (1,2-etanodiol, T_e 197 °C), cuyas soluciones acuosas se suponen ideales con solutos no volátiles. $\rho_m(\text{Glic}) = 92 \text{ g/mol}$ // $\rho_m(\text{etil}) = 62 \text{ g/mol}$

a) En qué proporción debe mezclarse con agua cada una de las anteriores sustancias para obtener 2 disoluciones que soporten ambas temperaturas de -15 °C. ($C=12$; $H=1$; $O=16$; K_c del agua 1.86). K_c g/mol

b) Razonar cuál de las soluciones anteriores resultaría más adecuada para evitar la ebullición del agua en época veraniega (K_e del agua 0.52) y porque.

Solución: a) 67% en peso de H_2O para el etilenglicol; 57.4% en peso de H_2O para la glicerina; b) Ambas soluciones adecuadas

8.- ¿Cuál será la presión osmótica y la temperatura de congelación de una disolución de NaCl que reduce la presión de vapor del agua en un 1% al disolver el soluto en un litro de agua a 25 °C?

DATOS: $P_v H_2O (25 \text{ }^\circ\text{C}) = 23,76 \text{ mm Hg}$, $K_c H_2O = 1,86 \text{ K/mol kg}$

$P_m \text{ NaCl} = 58,5 \text{ g/mol}$; $P_m H_2O = 18 \text{ g/mol}$; Densidad disoluc. = 1,023 g/mL

Solución: 13.6 atm.; -1.04 °C

9.- Cuando del peróxido de sodio reacciona en frío con agua se obtiene hidróxido sódico y oxígeno gaseosos. Si el gas obtenido en una determinada experiencia, se recoge sobre 400 mL de agua a 20 °C, la presión medida es de 757.8 mm Hg y el volumen de gas recogido es de 1000 mL.

Calcula el error que se comete al desprestigiar la solubilidad del oxígeno cuando burbujea sobre el agua a 20 °C y estimar, comparativamente como sería el error a 5 °C.

Datos $P_v (H_2O)$ a 20 °C = 17.53 mm Hg. Constante de Henry para el oxígeno a 20 °C = $1.2 \cdot 10^{-3} \text{ mol l}^{-1} \text{ atm}^{-1} = 2.148 \cdot 10^{-5} \text{ atm}^{-1} = 4.65 \cdot 10^4 \text{ atm}$

Solución: 1.14%; A 5 °C aumenta el error ya que aumenta la solubilidad del G en el L. Al bajar la T^a baja la P_v , con lo que queda más gas en el líquido, aumenta la solubilidad.

10.- Calcular la concentración de O_2 en agua pura a 25 °C, cuando se expone al aire a la presión de 760 mm Hg. La constante de la ley de Henry para el sistema $O_2 - H_2O$ a 25 °C es $3.3 \cdot 10^7 \text{ mm Hg}$. Expresar la respuesta en mg O_2 /l agua.

Solución: 8.6 mg O_2 /l agua

11.- Cuando 2 g de un compuesto X no volátil (que no presenta asociación ni disociación), cuya composición es 94.4% en peso de C, y 5.6% de H, se disuelven en 100 g de benceno la presión de vapor de la disolución a 20 °C desciende hasta un valor de 74.01 mmHg. Calcular el peso molecular del compuesto X y sus fórmulas

empírica y molecular. DATOS: Suponer en ambos casos disoluciones ideales;
Presión de vapor del benceno a 20 °C = 74.66 mmHg. Pesos atómicos: C = 12; H = 1.
Solución: Pm 178.61 g/mol $C_{14}H_{10}$

TEMA 4: DISOLUCIONES Y PROPIEDADES COLIGATIVAS

EXERCICIO 1



a)

$$\frac{10 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} = 0'10 \rightarrow \boxed{10\%}$$

b)

$$(10 \text{ mL}) \cdot (0'789 \text{ g/mL}) = 7'89 \text{ g ETANOL.}$$

$$(100 \text{ mL}) \cdot (0'982 \text{ g/mL}) = 98'2 \text{ g DISOLUCION}$$

$$\text{MASA SOLUTO} = \text{MASA DISOLUCION} - \text{MASA ETANOL}$$

DISOLVENTE

$$\text{MASA} = 98'2 \text{ g} - 7'89 \text{ g} \rightarrow \underline{\underline{\text{MASA} = 90'31 \text{ g}}}$$

$$\% \text{ MASA} = \frac{7'89}{98'2} \cdot 100 \rightarrow \boxed{\% \text{ MASA} = 8'03\%}$$

c)

$$\% \frac{\text{MASA}}{\text{VOLUMEN}} = \frac{7'89 \text{ g}}{100 \text{ mL}} \rightarrow \boxed{\% = 7'89\%}$$

d)

$$M = \frac{\text{MOL SOLUTO}}{\text{LITROS DISOL.}} = \frac{0'172}{0'1 \text{ L}} \rightarrow \boxed{M = 1'72 \text{ M}}$$

$$n_{\text{ETOH}} = \frac{7'89}{42} \rightarrow \underline{\underline{n_{\text{ET}} = 0'172 \text{ g}}}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{90'31}{18} \rightarrow \underline{\underline{n_{\text{H}_2\text{O}} = 5'017 \text{ g}}}$$

$$X_{\text{ET}} = \frac{0'172}{(0'172 + 5'017)} \rightarrow \boxed{X_{\text{ET}} = 0'033 \rightarrow 3'3\%}$$

e)

$$\text{MOLALIDAD} = \frac{n \text{ SOLUTO}}{\text{Kg DE DISOLVENTE}} = \frac{0'172}{90'31 \cdot 10^{-3}} \rightarrow \boxed{\text{MOLALIDAD} = 1'89 \text{ m}}$$

EXERCICIO 2

$$\left\{ \begin{array}{l} 50 \text{ g sacarosa} \\ 0'100 \text{ m } C_{12}H_{22}O_{11} \end{array} \right.$$

H₂ → DISOLVENTE

$$m = \frac{n \text{ SACAROSA (SOLUTO)}}{\text{Kg H}_2 \text{ (DISOLVENTE)}}$$

$$P.M (C_{12}H_{22}O_{11}) = 342 \text{ g/mol}$$

$$n_{\text{SOLUTO}} = \frac{50 \text{ g}}{342 \text{ g}} \rightarrow 0'1 = \frac{50/342}{\text{Kg H}_2} \rightarrow \boxed{\text{MASA} = 1'46 \text{ Kg H}_2}$$

EXERCICIO 3

$$CH_3OH \quad 2'45 \text{ M}$$

$$\rho = 0'976 \text{ g/ml}$$

$$P.M (\text{ETANOL}) = 32'04 \text{ g}$$

$$M = \frac{n \text{ SOLUTO}}{L \text{ DISOLUCION}}$$

$$j \quad m = \frac{n_{\text{SOLUTO}}}{\text{Kg (H}_2\text{O)}}$$

$$2'45 = \frac{n_{\text{META}}}{1 \text{ L}} \rightarrow \underline{\underline{n_{\text{META}} = 2'45 \text{ mol}}}$$

$$2'45 \text{ mol} = \frac{32'04 \text{ g}}{1 \text{ mol}} = \underline{\underline{78'4 \text{ g CH}_3\text{OH}}}$$

$$\text{MASA DISOL} = 0'976 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \cdot \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} \rightarrow \underline{\underline{\text{MASA DISOL} = 976 \text{ g}}}$$

$$\text{MASA DISOLVENTE} = \text{MASA DISOL} - \text{MASA SOLUTO} =$$

$$= 976 - 78'4 \rightarrow \boxed{\text{MASA DISOLVENTE} = 898 \text{ g}}$$

$$m = \frac{2'45}{398 \cdot 10^{-3}} \rightarrow \boxed{m = 2'73 \text{ m}}$$

EJERCICIO 4

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow 35'4\% \text{ en masa.} \\ \text{P.M.} = 97'99 \text{ g/mol} \end{array} \right.$$

$$m = \frac{n_{\text{SOLUTO}}}{\text{kg DISOLVENTE}}$$

$$\% \text{ MASA} = \frac{\text{MASA SOLUTO}}{\text{MASA DISOLUC.}} = \frac{35'4 \text{ g}}{100 \text{ g}}$$

$$\text{MASA DISOLVENTE} = (100 \text{ g})_{\text{DISOL.}} - (35'4 \text{ g})_{\text{SOLU}} \rightarrow \underline{\underline{\text{MASA DISOLV} = 64'6 \text{ g}}}$$

$$35'4 \text{ g H}_3\text{PO}_4 = \frac{1 \text{ mol}}{97'99 \text{ g H}_3\text{PO}_4} \rightarrow \underline{\underline{n_{\text{SOLU}} = 0'361 \text{ mol}}}$$

$$m = \frac{0'361}{64'6 \cdot 10^{-3}} \rightarrow \boxed{m = 5'59 \text{ m}}$$

EJERCICIO 6

$$\Delta P = 0'0035 \text{ mm Hg}$$

$$P_{\text{dt}}^{\circ} = 17'535 \text{ mm Hg } (20^{\circ}\text{C}).$$

$$0'20\% \text{ en peso } (\text{CH}_2\text{O})_x$$

$$T = 20^{\circ}\text{C} \Rightarrow \text{desenso de presión.}$$

$$\Delta P = P_{\text{dt}}^{\circ} \cdot X_s$$

DISOLVENTE PURO.

$$X_s = \frac{\text{MOLES SOLUTO}}{\text{MOLES SOLUTO} + \text{MOLES DISOLVE.}}$$

a)

$$0'20 = \frac{0'2 \text{ g SOLUTO}}{100 \text{ g DISOLUCION}} = \frac{\left(\frac{0'2}{30x}\right) \text{ MOLES SOLUTO}}{\left(\frac{0'2}{30x}\right) + \left(\frac{99'8 \text{ g H}_2\text{O}}{18}\right)} \Rightarrow \underline{\underline{X_s = \frac{1'2 \cdot 10^{-3}}{x}}}$$

$$(\text{CH}_2\text{O})_x \Rightarrow \text{P.M.} = 30 \cdot x$$

$$100 \text{ gr. DISOLUC.} = 0'2 \text{ gr. SOLUTO} + 99'8 \text{ gr. DISOLVENTE.}$$

$$\Delta P = P_{\text{dt}}^{\circ} \cdot X_s \rightarrow 0'0035 = 17'535 \cdot \frac{1'2 \cdot 10^{-3}}{x} \rightarrow \underline{\underline{x = 6}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \\ \text{P.M.} = 180 \text{ g/mol} \end{array} \right.$$

b) $\text{PRESION OSMOTICA } \equiv \pi = M \cdot R \cdot T$

$\rho = 1 \text{ g/mL}$

$$M = \frac{\text{MOLES SOLUTO}}{\text{LITROS DISOLUCION}} = \frac{0.2 \text{ g} / 180 \text{ g/mol}}{100 \text{ g} / 1 \text{ g/mL} \cdot 10^{-3} \text{ L}} \rightarrow \underline{M = 11.11 \cdot 10^{-3} \text{ M}}$$

$$\pi = M \cdot R \cdot T = 11.11 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (273 + 20) \text{ K} \rightarrow \boxed{\pi = 0.267 \text{ atm}}$$

$$\pi = 0.267 \text{ atm} \cdot \frac{760 \text{ mm Hg}}{1 \text{ atm}} \rightarrow \boxed{\pi = 202.886 \text{ mm Hg}}$$

c)

$$K_c = \frac{R \cdot T_c^2 \cdot P_{\text{H}_2\text{O}}}{1000 \Delta H_{\text{FUSION}}}$$

$$\Delta T_c = K_c \cdot m$$

UNIDADES EN gramo.

Generalmente el dato de la entalpia $\Rightarrow \Delta H_{\text{FUSION}} \text{ (cal/mol)}$

! CALOR LATENTE FUSION = 80 cal/g ! \Rightarrow si nos dan con estas unidades, no tenemos que usar el P.M en K_c .

$$K_c = \frac{R \cdot T_c^2}{1000 \cdot \left(\frac{\Delta H_{\text{FUS}} \text{ (cal/mol)}}{\text{PM (g/mol)}} \right)} = \frac{1.987 \cdot (273)^2 \cdot (1)}{1000 \cdot 80} \rightarrow \boxed{K_c = 1.86 \frac{\text{K} \cdot \text{kg}}{\text{mol}}}$$

TEMPERATURA DE CONGELACION DEL H₂O EN KELVIN.

! Constante crioscopica del agua siempre.

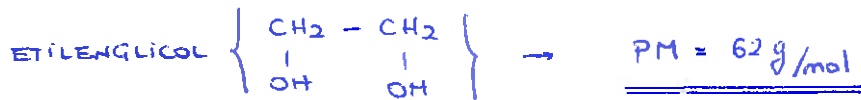
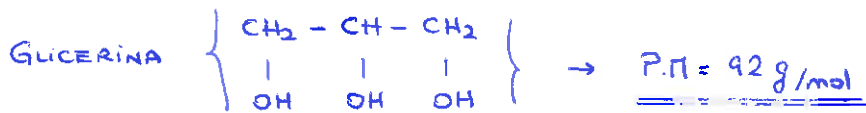
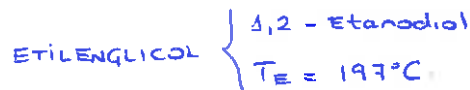
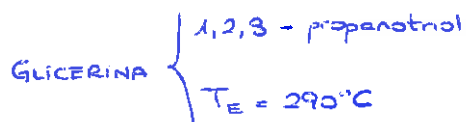
$$\text{MOLALIDAD} = \frac{\text{MOLES}}{\text{kg}}$$

d)

$$\text{MOLALIDAD} = \frac{\text{MOLES SOLUTO}}{\text{kg DISOLVENTE}} = \frac{0.2 \text{ g} / 180 \text{ g/mol}}{99.8 \text{ g} \cdot \left(\frac{\text{kg}}{10^3 \text{ g}} \right)} \rightarrow \underline{m = 0.011 \text{ mol/kg}}$$

$$\Delta T_c = K_c \cdot m = 1.86 \frac{\text{K} \cdot \text{kg}}{\text{mol}} \cdot 0.011 \frac{\text{mol}}{\text{kg}} \rightarrow \boxed{\Delta T_c = 0.0207 \text{ K}}$$

EJERCICIO 7



$$m = \frac{N_{\text{SOLUTO}}}{\text{Kg}_{\text{DISOLVENTE}}}$$

a)

$$K_c(\text{H}_2\text{O}) = 1'86 \text{ K} \cdot \text{kg/mol}$$

$$\Delta T_c = K_c \cdot m$$

$$\Delta T_c = -15^\circ\text{C}$$

$$[273 - (273 - 15)] = 1'86 \cdot m$$

$$\underline{\underline{m = 3'06 \text{ m}}}$$



$$3'06 \text{ m} = \frac{3'06 \text{ MOLES SOLUTO}}{1 \text{ Kg DISOLVENTE}}$$

$$3'06 \text{ m} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 3'06 \text{ mol} \\ 1 \text{ Kg} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} 3'06 \text{ mol} \cdot 92 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{g}} = \underline{\underline{0'741 \text{ Kg}}} \text{ (Glicerina)} \\ 3'06 \text{ mol} \cdot 62 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{g}} = \underline{\underline{0'496 \text{ Kg}}} \text{ (Etilenglicol)} \end{array} \right.$$

$$\% \text{ GLICERINA} = \frac{0'741}{1 + 0'741} = 0'426$$

$$\% \text{ ETILENGLICOL} = \frac{0'496}{1 + 0'496} = 0'332$$

b)

$$\Delta T_e = K_e \cdot m$$

$$\Delta T_e = 0'52 \frac{\text{K} \cdot \text{kg}}{\text{mol}} \cdot 3'06 \frac{\text{mol}}{\text{Kg}} \rightarrow \underline{\underline{\Delta T_e = 4'2 \text{ K}}}$$

Nos da igual que elemento utilizar porque como la molalidad es la misma en los dos elementos, la temperatura sera la misma. El punto de ebullicion da igual cual sea, no influye para nada, solo influye la cantidad que tengamos. Utilizamos el que tengamos que usar el de menos costo, es decir, el mas barato.

EJERCICIO 8

$$V = 1 \text{ L } \text{H}_2\text{O}$$

$$T = 25^\circ\text{C}$$

$$\text{NaCl} \rightarrow \Delta P = 1\%$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \pi = M \cdot R \cdot T \\ \Delta P = P_{\text{at}}^{\circ} \cdot X_s \end{array} \right.$$

$$[P_{\text{at}}^{\circ} - P_{\text{disol}}] = [23'76 - (0'99) \cdot 23'73] = 0'01 \cdot 23'76$$

$$0'01 \cdot 23'76 = 23'76 \cdot X_s \rightarrow \underline{X_s = 0'01}$$

$$M = \frac{n_{\text{SOLUTO}}}{(L)_{\text{DISOLUCION}}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} PM(\text{NaCl}) = 58'5 \text{ g/mol} \\ PM(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ g/mol} \end{array} \right.$$

$$PM(\text{DISOL.}) = 0'01 \cdot 58'5 + 0'99 \cdot 18$$

$$\underline{PM(\text{DISOL.}) = 18'405 \text{ g/mol}}$$

~~$$\frac{0'01}{n_s + n_{dt}} \cdot \frac{(n_s + n_{dt})}{PM_{\text{disol}}} \cdot \frac{1'023 \text{ g}}{0'1 \text{ L}} \cdot \frac{10^{-3} \text{ m}^3}{1 \text{ L}}$$~~

~~$$L_{\text{DISOLUCION}} = \frac{n_{\text{DISOLUCION}}}{PM_{\text{DISOLUCION}}} \cdot \frac{1'023 \text{ g}}{0'1 \text{ L}}$$~~

$$X_s = \frac{n_s}{n_s + n_{dt}} = 0'01 \rightarrow n_s = 0'01 (n_s + n_{dt})$$

$$L(\text{DISOLUCION}) = \frac{PM(\text{DISOL})}{\rho(\text{DISOL})} = \frac{18'405}{1'023} \cdot 10^{-3} \text{ L} \rightarrow \underline{L(\text{DISOL}) = 0'018 \text{ L}}$$

~~$$\frac{0'01}{0'556}$$~~

$$M = \frac{0'01}{0'018} \rightarrow \underline{M = 0'556 \text{ mol/L}}$$

$$\pi = M \cdot R \cdot T = 0'556 \cdot 0'082 (273 + 25) \rightarrow$$

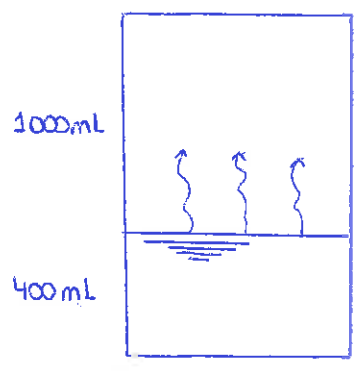
$$\boxed{\pi = 13'6 \text{ atm}}$$

$$m = \frac{0.01 (n_s + n_{dt})}{(n_s + n_{dt}) \cdot 18 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot \frac{1 \text{kg}}{10^3 \text{g}}} \Rightarrow \underline{m = 0.56 \text{m}}$$

$$\begin{cases} 0.01 (n_d) = n_s \\ 0.99 (n_d) = n_d \end{cases}$$

$$\Delta T_c = 1.86 \cdot 0.56 \rightarrow \boxed{\Delta T_c = 1.04 \text{ K}}$$

EJERCICIO 9



$$\frac{(O_2)_{\text{EN LIQUIDO}}}{(O_2)_{\text{TOTAL}}} = (O_2)_{\text{EN GAS}} + (O_2)_{\text{EN LIQUIDO}}$$

$$(P_p)_{O_2} = P_{\text{TOTAL}} - (P_p)_{H_2O} = 757.8 - 17.53 \rightarrow \underline{(P_p)_{O_2} = 740.3 \text{ mm Hg}}$$

$$C_g = (K)_{O_2} \cdot (P_p)_{O_2} = 1.2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{740.3}{760} \rightarrow \underline{C_g = 1.17 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol } O_2}{\text{L}}}$$

(mol/atm.L)
CONSTANTE DE HENRY

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow \frac{740.3}{760} \cdot 1 \text{ L} = n \cdot 0.082 (273 + 20) \rightarrow \underline{\underline{\frac{n}{L} = 0.0405 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}}$$

$$\frac{(O_2)_{\text{EN LIQUIDO}}}{(O_2)_{\text{TOTAL}}} = \frac{1.17 \cdot 10^{-3} \cdot 0.04}{0.0405 + (1.17 \cdot 10^{-3} \cdot 0.04)} \rightarrow \boxed{E = 1.14\%}$$

$$\begin{aligned} K = \text{atm}^{-1} &\Rightarrow X_{O_2} = P_{O_2} \cdot K \\ K = \text{atm} &\Rightarrow P_{O_2} = X_{O_2} \cdot K \\ K = \frac{\text{mol}}{\text{atm} \cdot \text{L}} &\Rightarrow C_g = K \cdot P_{O_2} \end{aligned}$$

EL GAS ABSORBE MAS EN UN LIQUIDO A BAJAS TEMPERATURAS, A MENOR TEMPERATURA MAS ERROR SE COMETE.

Tecnología Química
Problemas tema 5

- 1) Mediante datos tomados de las tablas de vapor de agua correspondientes a 100 °C y 0.10135 MPa, comprobar que en el equilibrio entre vapor y líquido se satisface la igualdad de G.

Solución: $G^L = G^V \approx 68.5 \text{ kJ/kg}$

- 2) Calcular el volumen total, la entalpía total y la entropía total de 1 kg de agua a 100 °C, si la mitad se encuentra en fase líquida y la otra mitad en fase vapor. Ambas fases se encuentran en equilibrio (saturadas).

Solución: 0.8730 m³/kg, 1547.55 kJ/kg, 4.3309 kJ/(kg K)

- 3) Demostrar, utilizando las tablas de vapor de agua, que si se fija la presión de una mezcla líquido - vapor en 1.0135 bar todas las restantes propiedades quedan fijadas. Ídem que si se fija adicionalmente que el volumen específico de la mezcla es de 1 m³/kg, se puede determinar la distribución másica entre las dos fases. Por último, ¿cuál será la entalpía total de 3.2 m³ de esta mezcla bifásica?

Solución: 15.7457 kJ/(kg K)

- 4) Se dispone de los siguientes datos de presión de vapor:

	T (°C)	P (mm de Hg)
Hielo	- 4	3.280
	- 2	3.880
Agua	+ 2	5.294
	+ 4	6.101

Estimar: el calor de sublimación del hielo, el calor de vaporización del agua, el calor de fusión del hielo y el punto triple del agua.

Solución: Sublimación 50.97 kJ/mol, vaporización 44.98 kJ/mol, fusión 5.99 kJ/mol, $T_T = 273.279 \text{ K}$ (valor experimental es 273.16 K), $P_T = 4.627 \text{ mm Hg}$ (valor experimental 4.579 mm Hg)

- 5) La presión de vapor del 2,2,4-trimetil pentano para varias temperaturas aparece en la siguiente tabla:

P de vapor (kPa)	0.667	1.333	2.666	5.333	8.000	13.33	26.66	53.33	101.32
Temperatura (°C)	- 15.0	- 4.3	7.5	20.7	29.1	40.7	58.1	78.0	99.2

Estimar el calor de vaporización de este compuesto a 25 °C.

Solución: 35.649 kJ/mol

- 6) Una mezcla contiene un 50 % molar de n-pentano y otro 50 % molar de n-octano y se encuentra inicialmente como líquido subenfriado. Se alimenta a una cámara que se encuentra a 146 °C. Determinar: a) a qué presión aparecerá la primera burbuja y cuál será su composición; b) a qué presión se evaporará la última gota de líquido y cuál será la composición de esa gota, y c) si la presión de la cámara se fija en 3.6 bar, que fracción de la mezcla inicial permanecerá como líquido y cuáles serán las composiciones de las dos fases, líquida y vapor, cuando se encuentren en equilibrio a las condiciones especificadas.

Solución: $P_b = 8.16 \text{ bar}$, $P_d = 3.1 \text{ bar}$, $L = 20.4 \%$, $x_1 = 0.146$, $y_1 = 0.59$

FUSION 118 °C
EBULLIC 245 °C
 $\Delta H_c = 10.5 \text{ kJ/mol}$
 $\Delta H = 27.15 \text{ kJ/mol}$

2017



- 7) Una corriente cuya composición molar es: 40 % etano y 60 % propano se separa en dos fases, líquida y vapor, en una cámara que se encuentra a 10 bar. De la corriente inicial el 20 % sale de la cámara como vapor y el 80 % como líquido. Calcular la temperatura a la que opera esta cámara y las composiciones de las dos fases que en ella se forman. (IT+RFP)
- 8) Una mezcla equimolecular de etileno y propileno se almacena en un tanque a 5 bar. Determinar la temperatura que conseguiría que a la presión especificada el 50 % del contenido del tanque fuera líquido y el restante 50 % vapor.
- 9) Una mezcla 50-50 de n-pentano y n-hexano se separa mediante una destilación flash a 100 °C. De la cantidad total inicial, el 30 % sale como vapor. Determinar las composiciones de las dos fases en que se separa la mezcla inicial.

Solución: $x_1 = 0.4354$, $y_1 = 0.6508$

- 10) A partir de datos experimentales se sabe que a 25 °C se encuentran en equilibrio una fase acuosa que contiene 0.083 % en peso de tetracloruro de carbono con otra de este compuesto que contiene un 0.011 % en peso de agua. Estimar el coeficiente de actividad del CCl_4 en la fase acuosa y el del agua en la fase orgánica.

- 11) Cuando se mezcla n-octanol y agua se forman dos fases líquidas. La fase rica en agua es prácticamente pura, ya que en ella la fracción molar de n-octanol es $0.7 \cdot 10^{-4}$, mientras que la fase orgánica contiene una fracción molar de agua de 0.26. Estimar aproximadamente los correspondientes coeficientes de actividad.

Solución: Del agua en la fase de CCl_4 , 10^3 y del CCl_4 en la de agua 10^4

- 12) Por una canalización circula una corriente de aire húmedo a 30 °C y con un caudal de 5000 m^3/h . Parte de esta corriente se separa y a traviesa un sistema en el que se enfría hasta 10 °C, separándose también el agua líquida que, en su caso, se condense. Esta corriente de aire separada abandona ese sistema saturado de humedad a 10 °C. Esta corriente se mezcla aguas abajo con el resto de la corriente inicial no tratada y se desea que, tras este mezclado, la humedad absoluta de la corriente de aire mezclada sea de 0.013 kg de vapor de agua/kg de aire seco. Se pide: a) el caudal de aire que debe circular por el sistema de deshumidificación, b) el peso de agua condensada y c) la temperatura final de la corriente de aire tras el mezclado.

Solución: a) ~~3000~~ m^3/h , b) 80.4 kg/h, c) 16 °C

- 13) La presión de vapor de la acetona a 20 °C es de 184.8 mm de Hg. Calcular la composición volumétrica y la humedad absoluta de una corriente de gas N_2 saturado de acetona a 210 °C.

Solución: 24.6 % de acetona y el resto N_2 , 0.667 kg de acetona/kg de N_2 seco

- 14) En una mezcla benceno-nitrógeno a 40 °C y 720 mm de Hg la presión parcial del benceno es de 50 mm de Hg. Se desea recuperar el 90 % del benceno condensándolo y para ello la corriente gaseosa inicial se comprime y enfría. Calcular: a) la presión a la que se debe comprimir la mezcla si, a continuación, se enfría hasta 5 °C (a esta temperatura la presión de vapor del benceno es de 34.9 mm de Hg), y b) el volumen inicial de mezcla si tras el proceso indicado se han condensado 60 kg de benceno.

Solución: a) 6.2 atm, b) 333.4 m^3

- 15) Un residuo sólido abandona un proceso de extracción empapado de acetona. Para recuperar esta acetona, este sólido se pone en contacto con una corriente de aire que evapora esa acetona. La mezcla acetona-aire así generada se comprime hasta 3 atm y se enfría hasta 5 °C (a esta temperatura la presión de vapor de la acetona es de 86 mm de Hg). Una parte de la acetona (100 kg/h) se separa del aire por condensación y el aire se expande de nuevo hasta 1 atm y se recircula al secadero. El aire entra al secadero a 760

mm de Hg y 70 °C y sale de él a 755 mm de Hg, 40 °C y con una humedad relativa del 80 %. Se debe calcular el caudal volumétrico del aire húmedo que entra al secadero.

Solución: 70.7 m³/h

16) En un secadero de paredes adiabáticas se debe secar 1000 kg/h de un sólido que a la entrada contiene un 60 % de humedad y a la salida debe contener un 5 % como máximo. Para el secado se toma aire atmosférico a 15 °C en el que el vapor de agua ejerce una presión parcial de 2 mm de Hg. Este aire se calienta antes de ser alimentado al secadero. A la salida del secadero el aire se encuentra a 30 °C y con una humedad relativa del 85 %. Calcular: a) la temperatura a la que se debe precalentar el aire, b) el caudal de aire que entra al secadero, y c) el calor que debe suministrarse al aire para precalentarlo (como calores específicos a-P constante para el aire y el agua se pueden tomar los valores 0.24 y 0.46 Kcal/(Kg °C) respectivamente).

Solución: a) 80 °C, b) 10330 m³/h, c) 1.62 10⁵ kcal/h

17) De un yacimiento salino que contiene KCl se desea extraer esta sal mediante su disolución en agua líquida caliente inyectada al yacimiento subterráneo mediante un pozo perforado al efecto y la posterior cristalización de la sal extraída disuelta por cristalización enfriando esa disolución. Se opera entre 80 y 10 °C, temperaturas a las cuales la solubilidad del KCl en agua es igual a 34.5 y 23.5 respectivamente (% en peso). Despreciando las posibles pérdidas de agua, determinar los kg de KCl que se pueden recuperar mediante este proceso por cada 1000 kg de agua líquida que circulen por él.

Solución: 219.6 kg

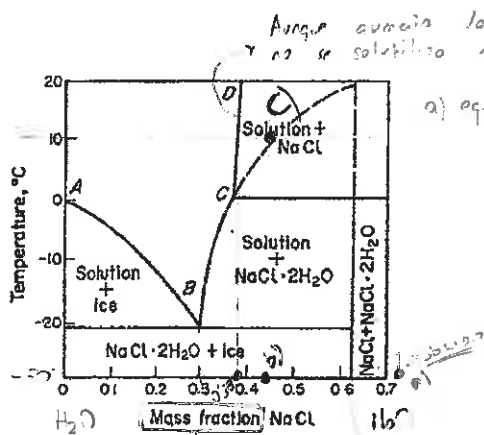
18) En la figura que se adjunta a continuación aparece representado el diagrama composición-temperatura del sistema NaCl-H₂O. A partir de ese diagrama se pide, para condiciones de equilibrio termodinámico: a) qué fases y en qué proporción másica se formarán a partir de una mezcla equimolecular de estos dos compuestos a T= -30 °C, b) ídem si la mezcla inicial contiene 4 moles de agua por cada mol de NaCl, y c) ídem si la mezcla inicial especificada en el apartado anterior se calienta hasta 10 °C.

Si aumenta H₂O:

7 < 0 → Sólido + solución salina

7 > 0 → líquido + H₂O

H₂O > 32 → precipita



19) Una disolución acuosa contiene un 20 % en peso de NaCl y se encuentra a 0 °C. Se procede a enfriar esta disolución hasta -10 °C y se desea conocer: a) qué fase sólida aparecerá y en qué proporción con respecto a cada 100 kg de disolución inicial. A continuación se separa la fase sólida obtenida y la disolución restante se alimenta a un evaporador-cristalizador del que sale una corriente de disolución saturada de NaCl y otra de cristales sólidos, ambas a 20 °C. Determinar: b) la cantidad de ambas corrientes calculadas para la base antes especificada y c) cuál será la fase sólida formada en este cristalizador.

EJERCICIOS TEMA 5

1.

$$T = 100^\circ\text{C}$$

$$P = 0'10135 \text{ MPa}$$

⇒ Vamos a Tablas

LIQ. SATURADO

$$\left\{ \begin{array}{l} h = 419'04 \text{ KJ/kg} \\ s = 1'3069 \text{ KJ/kg}\cdot\text{K} \end{array} \right.$$

VAP. SATURADO

$$\left\{ \begin{array}{l} h = 2676'1 \text{ KJ/kg} \\ s = 7'3549 \text{ KJ/kg}\cdot\text{K} \end{array} \right.$$

$$G = h - T \cdot s$$

$$G^L = 419'04 - 373 \cdot (1'3069) \Rightarrow G^L = 68'43$$

$$G^V = 2676'1 - 373 \cdot (7'3549) \Rightarrow G^V = 67'28$$

$$\underline{G^L \approx G^V}$$

2.

$$m = 1 \text{ kg}$$

$$T = 100^\circ\text{C}$$

AGUA.

0'5 kg fase líquida saturada
0'5 kg fase vapor saturada.

Tablas $T = 100^\circ\text{C}$

Liq. saturada	$v_L = 0'001044 \text{ m}^3/\text{kg}$
Vap. saturada	$v_g = 1'6729 \text{ m}^3/\text{kg}$

$$V = 0'5 \cdot 0'001044 + 1'6729 \cdot 0'5 \rightarrow \boxed{V = 0'83697 \text{ m}^3}$$

Tablas $T = 100^\circ\text{C}$

Liq. saturada:	$h = 419'04 \text{ KJ/kg}$;	$s = 1'3069 \text{ KJ/kg}\cdot\text{K}$
Vap. saturada:	$h = 2676'1 \text{ KJ/kg}$;	$s = 7'3549 \text{ KJ/kg}\cdot\text{K}$

$$H_{\text{TOTAL}} = 0'5 \cdot 419'04 + 0'5 \cdot 2676'1 \rightarrow \boxed{H_{\text{TOTAL}} = 1547'57 \text{ KJ/kg}}$$

$$S_{\text{TOTAL}} = 0'5 \cdot 1'3069 + 0'5 \cdot 7'3549 \rightarrow \boxed{S_{\text{TOTAL}} = 4'3309 \text{ KJ/kg}\cdot\text{K}}$$

6.

MEZCLA $\left\{ \begin{array}{l} 50\% \text{ molar} \Rightarrow n\text{-pentano} \equiv x_1 \\ 50\% \text{ molar} \Rightarrow n\text{-octano} \equiv x_2 \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \text{Líquido subenfriado} \end{array} \right.$

$$T = 146^\circ\text{C} = 419 \text{ K}$$

a) Vamos a tabla de Antoine:

$$\ln P_i^{\text{SAT}} = A_i - B_i / (T + C_i)$$

$$x_1 \equiv \text{n-pentano} : \ln P_1^{\text{SAT}} = 15'6663 - \frac{2374'19}{(419 + (-46'24))} \Rightarrow P_1^{\text{SAT}} = 10906'14 \text{ mm Hg}$$

$$x_2 \equiv \text{n-octano} : \ln P_2^{\text{SAT}} = 16'1427 - \frac{3220'75}{419 + (-60'02)} \Rightarrow P_2^{\text{SAT}} = 1300'822 \text{ mm Hg}$$

$$\begin{cases} y_1 \cdot P = x_1 \cdot P_1^{\text{SAT}} \\ y_2 \cdot P = x_2 \cdot P_2^{\text{SAT}} \end{cases} \Rightarrow y_1 + y_2 = 1 \Rightarrow \frac{x_1 \cdot P_1^{\text{SAT}}}{P} + \frac{x_2 \cdot P_2^{\text{SAT}}}{P} = 1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P = 0'5 \cdot 10906'14 + 0'5 \cdot 1300'822 \rightarrow \boxed{P = 6103'481 \text{ mm Hg} = 8'137 \text{ bar}}$$

$$y_1 = \frac{x_1 \cdot P_1^{\text{SAT}}}{P} = \frac{0'5 \cdot 10906'14}{6103'481} \rightarrow \boxed{y_1 = 0'893}$$

$$y_2 = \frac{x_2 \cdot P_2^{\text{SAT}}}{P} = \frac{0'5 \cdot 1300'822}{6103'481} \rightarrow \boxed{y_2 = 0'107}$$

b)

Ultima gota de liquido \equiv PUNTO DE ROCIO.

Las composiciones son las mismas que en el caso anterior lo unico que ahora seran y_1, y_2 en vez de x_1, x_2 ya que estamos en fase vapor. Las P_i^{SAT} tambien son las mismas.

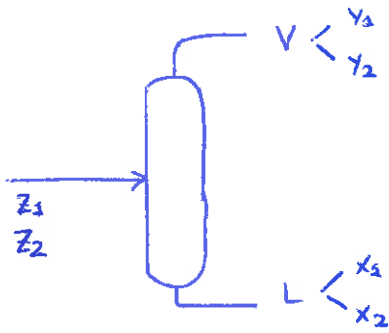
$$\begin{cases} y_1 \cdot P = x_1 \cdot P_1^{\text{SAT}} \\ y_2 \cdot P = x_2 \cdot P_2^{\text{SAT}} \end{cases} \Rightarrow x_1 + x_2 = 1 \Rightarrow \frac{y_1 \cdot P}{P_1^{\text{SAT}}} + \frac{y_2 \cdot P}{P_2^{\text{SAT}}} = 1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P = \frac{1}{\frac{y_1}{P_1^{\text{SAT}}} + \frac{y_2}{P_2^{\text{SAT}}}} \rightarrow \boxed{P = 2324'403 \text{ mm Hg} = 3'1 \text{ bar}}$$

$$x_1 = \frac{y_1 \cdot P}{P_1^{\text{SAT}}} = \frac{0'5 \cdot 2324'403}{10906'14} \rightarrow \boxed{x_1 = 0'107}$$

$$x_2 = \frac{y_2 \cdot P}{P_2^{\text{SAT}}} = \frac{0'5 \cdot 2324'403}{1300'822} \rightarrow \boxed{x_2 = 0'893}$$

c) Nos fijon la presión de la cámara $\rightarrow P = 3'6 \text{ bar} = 2700'22 \text{ mm Hg}$



$P_d < P < P_b \Rightarrow$ SE FORMARAN DOS FASES!

$$L + V = 1 \rightarrow L = 1 - V$$

$$\begin{cases} z_1 = L \cdot x_1 + V \cdot y_1 \\ z_2 = L \cdot x_2 + V \cdot y_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} z_1 = (1-V) \cdot x_1 + V \cdot y_1 \\ z_2 = (1-V) \cdot x_2 + V \cdot y_2 \end{cases}$$

$$y_i \cdot P = x_i \cdot P_i^{\text{SAT}}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} z_1 = (1-V) \cdot \frac{y_1 \cdot P}{P_1^{\text{SAT}}} + V \cdot y_1 \\ z_2 = (1-V) \cdot \frac{y_2 \cdot P}{P_2^{\text{SAT}}} + V \cdot y_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} z_1 = \left[(1-V) \frac{P}{P_1^{\text{SAT}}} + V \right] \cdot y_1 \\ z_2 = \left[(1-V) \frac{P}{P_2^{\text{SAT}}} + V \right] \cdot y_2 \end{cases}$$

$$y_2 + y_1 = 1$$

$$\frac{z_1}{(1-V) \cdot \frac{P}{P_1^{\text{SAT}}} + V} + \frac{z_2}{(1-V) \cdot \frac{P}{P_2^{\text{SAT}}} + V} = 1 \quad \begin{matrix} ?? \\ \vdots \\ \end{matrix} \rightarrow V = 0'805$$

$$L = 1 - V = 1 - 0'805 \rightarrow \boxed{L = 0'195 = 19'5\%}$$

$$y_1 = \frac{z_1}{(1-V) \frac{P}{P_1^{\text{SAT}}} + V} = \frac{0'5}{(1-0'805) \cdot \frac{2700'22}{10906'14} + 0'805} \rightarrow \boxed{y_1 = 0'59}$$

$$x_1 = \frac{y_1 \cdot P}{P_1^{\text{SAT}}} = \frac{0'59 \cdot 2700'22}{10906'14} \rightarrow \boxed{x_1 = 0'145}$$

7.

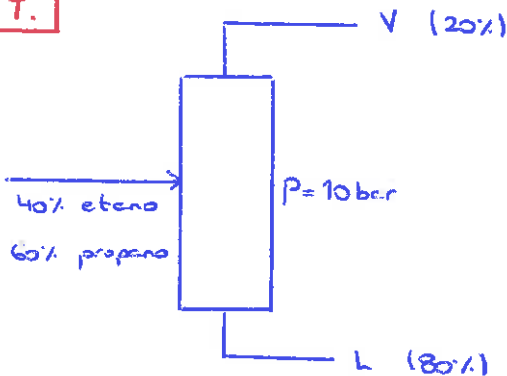


TABLA DE ANTOINE:

Etano:

$$\ln P_3^{\text{SAT}} = 15'6937 - \frac{1520'15}{T - 16'76}$$

Propano:

$$\ln P_2^{\text{SAT}} = 15'7863 - \frac{1892'47}{T - 24'33}$$

Lo que tenemos que hacer es iterar para distintos valores de T hasta que se verifique que $m_1 + m_2 = 1$

$$\frac{z_1}{\underbrace{(1-v) \frac{P}{P_1^{SAT}} + v}_{m_1}} + \frac{z_2}{\underbrace{(1-v) \frac{P}{P_2^{SAT}} + v}_{m_2}} = 1 \Rightarrow \frac{0.4}{(1-0.2) \frac{7500.62}{P_1^{SAT}} + 0.2} + \frac{0.6}{(1-0.2) \frac{7500.62}{P_2^{SAT}} + 0.2} = 1$$

Mirando la tabla de Antoine $\left\{ \begin{array}{l} \text{Etano} \Rightarrow \\ \text{Propano} \Rightarrow \end{array} \right.$

RANGO T [K]
135 - 235
180 - 280

$\left\{ \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right. \underline{\underline{180 - 235}}$

Llegamos a la conclusión que debe estar entre esas Temperaturas.

T: [K]	P_1^{SAT}	P_2^{SAT}	m_1	m_2
205	2034.703	202.668	0.127	0.02
207.5	2261.83	233.82	0.14	

$m_1 + m_2 \neq 1$

$T = 207.5 \text{ K}$

8.

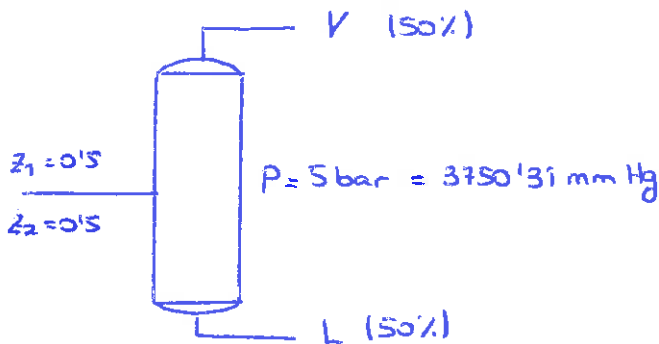


TABLA DE ANTOINE: (dato por el profesor)

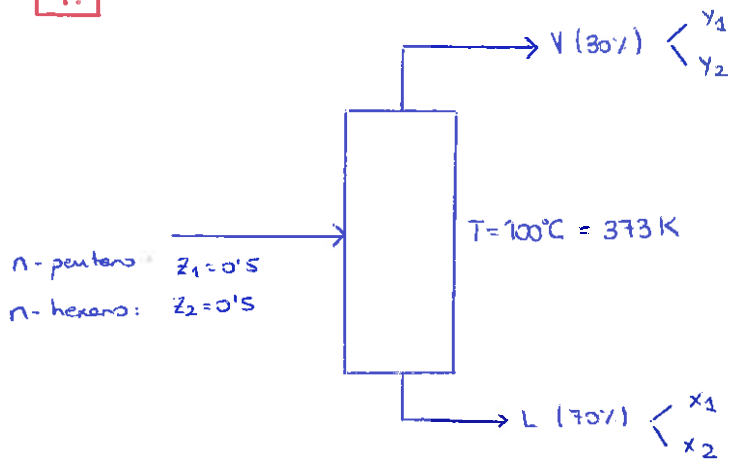
ETILENO: $\log P_1^{SAT} = 6.7476 - \frac{585}{T + 255}$

PROPILENO: $\log P_2^{SAT} = 6.8196 - \frac{785}{T + 247}$

OTRA VEZ DEBEMOS ITERAR HASTA $m_1 + m_2 = 1 \Rightarrow$

$T = -36.9^\circ \text{C}$

9.



$$\left\{ \begin{array}{l} L + V = 1 \rightarrow L = 1 - V \\ L x_1 + V y_1 = 1 \cdot z_1 \\ L x_2 + V y_2 = 1 \cdot z_2 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} y_1 \cdot P = x_1 \cdot P_1^{SAT} \rightarrow x_1 = \frac{y_1 \cdot P}{P_1^{SAT}} \\ y_2 \cdot P = x_2 \cdot P_2^{SAT} \rightarrow x_2 = \frac{y_2 \cdot P}{P_2^{SAT}} \end{array} \right.$$

$$(1 - V) \cdot \frac{y_1 \cdot P}{P_1^{SAT}} + V \cdot y_1 = z_1 \rightarrow y_1 = \frac{z_1}{V + \frac{P}{P_1^{SAT}} (1 - V)} = \frac{0.5}{0.3 + \frac{P}{4449.057} (0.7)}$$

$$(1 - V) \cdot \frac{y_2 \cdot P}{P_2^{SAT}} + V \cdot y_2 = z_2 \rightarrow y_2 = \frac{z_2}{V + \frac{P}{P_2^{SAT}} (1 - V)} = \frac{0.5}{0.3 + \frac{P}{1838.082} (0.7)}$$

TABLA DE ANTOINE!

$$\text{n-pentano: } \ln P_1^{SAT} = 15.6663 = \frac{2374.19}{373 - 46.24} \rightarrow P_1^{SAT} = 4449.057 \text{ mm Hg}$$

$$\text{n-hexano: } \ln P_2^{SAT} = 15.8366 = \frac{2697.55}{373 - 48.78} \rightarrow P_2^{SAT} = 1838.082 \text{ mm Hg}$$

$$y_1 + y_2 = 1$$

$$\frac{0.5}{0.3 + \frac{P}{4449.057} \cdot 0.7} + \frac{0.5}{0.3 + \frac{P}{1838.082} \cdot 0.7} = 1 \rightarrow \underline{P = 2974.56 \text{ mm Hg}}$$

$$y_1 = \frac{0.5}{0.3 + \frac{2974.56}{4449.057} \cdot 0.7} \rightarrow$$

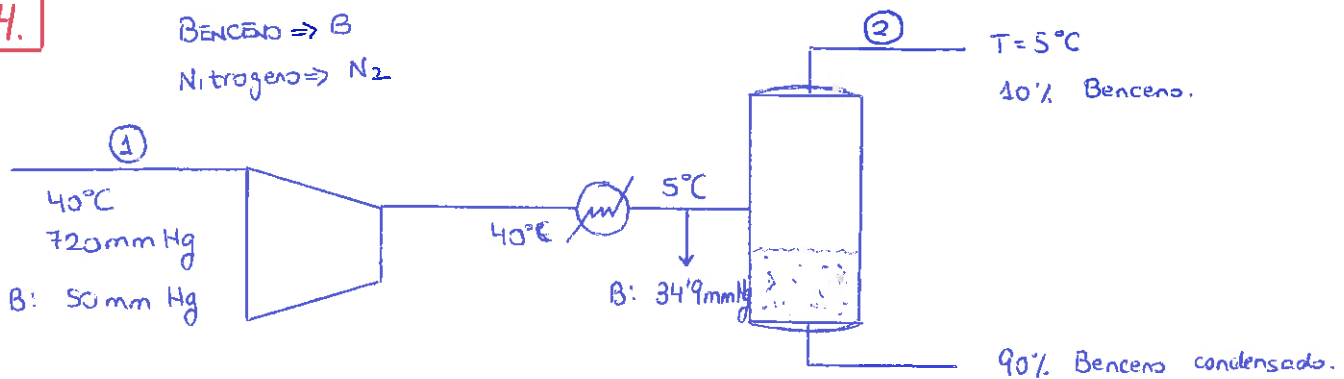
$$\boxed{y_1 = 0.651}$$

$$x_1 = \frac{y_1 \cdot P}{P_1^{SAT}} = \frac{0.651 \cdot 2974.56}{4449.057} \rightarrow$$

$$\boxed{x_1 = 0.435}$$

14.

BENCENO \Rightarrow B
Nitrogeno \Rightarrow N₂



a)

$$\text{BENCENO: } C_6H_6 \Rightarrow P_m = 78 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{NITROGENO: } N_2 \Rightarrow P_m = 28 \text{ kg/kmol}$$

$$Y = \frac{M_v}{M_g} \cdot \left(\frac{P_v}{P_T - P_v} \right) = \frac{78}{28} \left(\frac{50}{720 - 50} \right) \Rightarrow Y_1 = 0.208 \frac{\text{kg B}}{\text{kg N}_2}$$

$$Y_2 = \frac{10}{100} \cdot Y_1 = 0.1 \cdot 0.208 \Rightarrow Y_2 = 0.0208 \frac{\text{kg B}}{\text{kg N}_2}$$

$$0.0208 = \frac{78}{28} \left(\frac{34.9}{P_T - 34.9} \right) \Rightarrow P_T = 4709 \text{ mm Hg} \approx 6.2 \text{ atm}$$

b)

90% Benceno condensado \equiv 60 kg Benceno.

$$V = \left(\frac{1}{M_g} + \frac{Y}{M_v} \right) \frac{RT}{P_T} \quad \left(\frac{\text{m}^3 \text{ mezcla}}{\text{kg N}_2} \right) \quad \begin{cases} P(\text{atm}) \\ T(\text{K}) \end{cases}$$

$$V = \left(\frac{1}{28} + \frac{0.208}{78} \right) \frac{0.082 \cdot (40 + 273)}{\left(\frac{720}{760} \right)} \rightarrow V = 1.04 \frac{\text{m}^3 \text{ mezcla}}{\text{kg N}_2}$$

$$\Delta Y = Y_1 - Y_2 = 0.208 - 0.0208 = 0.1872 \frac{\text{kg B}}{\text{kg N}_2}$$

$$V = \frac{1.04 \text{ m}^3 \text{ mezcla}}{\text{kg N}_2} \cdot 60 \text{ kg Ben.} \cdot \frac{1}{0.1872} \frac{\text{kg N}_2}{\text{kg Ben.}} \rightarrow V = 333.3 \text{ m}^3 \text{ mezcla}$$

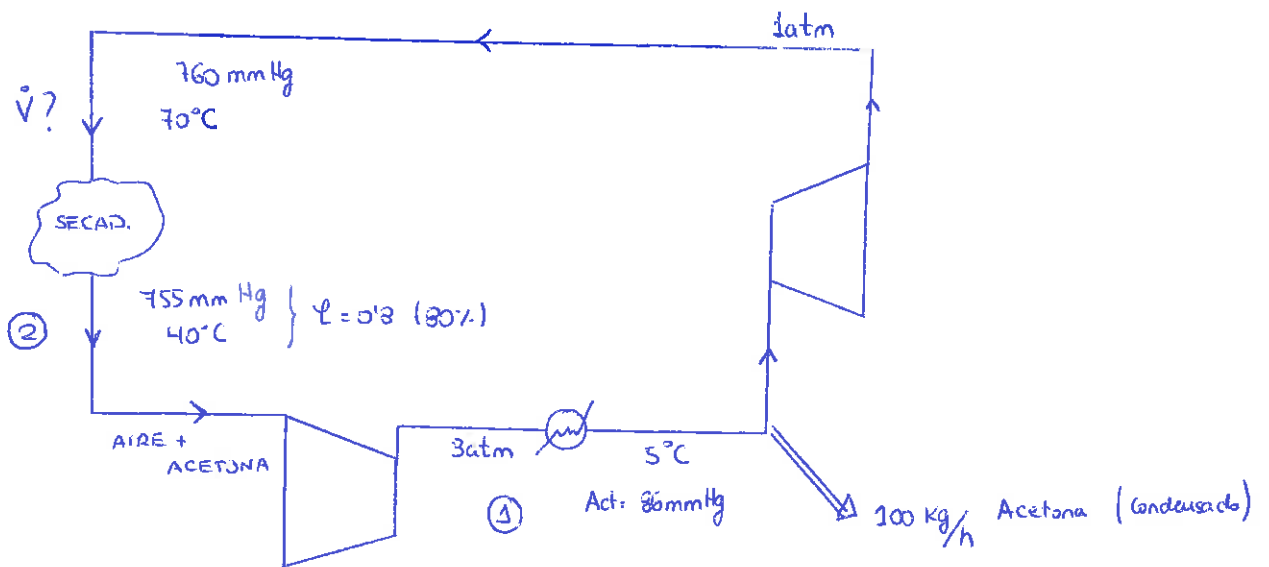


TABLA ANTOINE!

$$\text{Acetona } (40^\circ\text{C}) \Rightarrow \ln p^{\text{SAT}} = 16'5145 = \frac{2350'59}{(40+273) - 40'82} \rightarrow \underline{\underline{p^{\text{SAT}}(40^\circ\text{C}) = 420'45 \text{ mm Hg}}}$$

$$P_m(\text{Acetona}) = 58 \text{ Kg/kmol}$$

$$P_m(\text{Aire}) = 28'8 \text{ Kg/kmol}$$

$$Y = \frac{M_v}{M_g} \cdot \left(\frac{P_v}{P_T - P_v} \right) \left(\frac{\text{Kg vap}}{\text{Kg gas}} \right)$$

$$Y_1 = \frac{58}{28'8} \left(\frac{86}{(3 \cdot 760) - 86} \right) \rightarrow \underline{\underline{Y_1 = 0'079 \frac{\text{Kg acetona}}{\text{Kg aire.}}}}$$

$$\ell = \frac{P_v}{p^{\text{SAT}}} \rightarrow P_v = 0'8 \cdot 420'45 \rightarrow P_v = 336'36 \text{ mm Hg}$$

$$Y_2 = \frac{58}{28'8} \left(\frac{336'36}{755 - 336'36} \right) \rightarrow \underline{\underline{Y_2 = 1'618 \frac{\text{Kg acetona}}{\text{Kg aire}}}}$$

$$\Delta Y = Y_2 - Y_1 = 1'618 - 0'079 \Rightarrow \underline{\underline{\Delta Y = 1'539 \frac{\text{Kg acetona}}{\text{Kg aire.}}}}$$

$$100 \frac{\text{Kg acetona}}{\text{h}} = \frac{1}{1'539} \frac{\text{Kg aire}}{\text{Kg acetona}} = 64'98 \text{ Kg aire/h}$$

$$v = \left(\frac{1}{M_g} + \frac{Y}{M_v} \right) \frac{RT}{P_T} = \left(\frac{1}{28'8} + \frac{0'079}{58} \right) \frac{0'082 \cdot (170+273)}{1} \rightarrow v = 1'014 \frac{\text{m}^3 \text{ mezcla}}{\text{Kg aire.}}$$

$$Q = \dot{v} = 1'014 \frac{\text{m}^3 \text{ mezcla}}{\text{Kg aire}} \cdot 64'98 \frac{\text{Kg aire}}{\text{h}} \rightarrow \boxed{Q = 65'9 \text{ m}^3/\text{h}}$$

17.

$$T = 80^{\circ}\text{C} \Rightarrow 34.5\% \text{ en peso KCl}$$

$$T = 10^{\circ}\text{C} \Rightarrow 23.5\% \text{ en peso KCl}$$

1000 kg H₂O (l)

$$X_s \text{ (en peso)} = \frac{W_s}{W_s + W_d} \cdot 100$$

$$0.345 = \frac{W_{\text{KCl}}}{W_{\text{KCl}} + 1000} \rightarrow W_{\text{KCl}} (80^{\circ}\text{C}) = 526.72 \text{ kg KCl}$$

$$0.235 = \frac{W_{\text{KCl}}}{W_{\text{KCl}} + 1000} \rightarrow W_{\text{KCl}} (10^{\circ}\text{C}) = 307.19 \text{ kg KCl}$$

$$m_{\text{KCl}} = 526.72 - 307.19 \rightarrow \boxed{m_{\text{KCl}} = 219.53 \text{ kg KCl}}$$

18.

Diagrama Temperatura - Composición (NaCl - H₂O)

$$\left. \begin{array}{l} P_m (\text{NaCl}) = 58.45 \text{ g/mol} \\ P_m (\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ g/mol} \end{array} \right\}$$

a) Mezcla equimolecular ($T = -30^{\circ}\text{C}$) $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ mol NaCl} \\ 1 \text{ mol H}_2\text{O} \end{array} \right.$

$$1 \text{ mol NaCl} = \frac{58.45 \text{ g}}{1 \text{ mol NaCl}} = 58.45 \text{ g NaCl}$$

$$1 \text{ mol H}_2\text{O} = \frac{18 \text{ g}}{1 \text{ mol H}_2\text{O}} = \frac{18 \text{ g H}_2\text{O}}{76.45 \text{ g}}$$

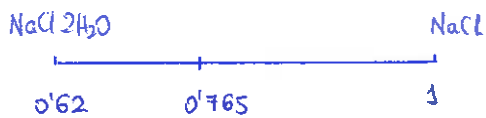
$$W_{\text{NaCl}} = \frac{58.45}{76.45} \rightarrow \boxed{W_{\text{NaCl}} = 0.765}$$

$$\boxed{W_{\text{H}_2\text{O}} = 0.235}$$

Vamos al diagrama que nos den. Para $T = -30^{\circ}\text{C}$ y $W_{\text{NaCl}} = 0.765$ (No sale en el diagrama) podemos intuir que se encuentra en la zona de $\text{NaCl} + \text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, es decir, en fase sólida + solución salina.

Ahora una vez conocido en que zona se encuentra, calculamos las proporciones masicas en las que se formaran: 2 posibilidades.

1 - FORMA GRAFICA (REGLA DE LA PALANCA)



$$\% \text{ NaCl} = \frac{0'765 - 0'62}{1 - 0'62} \cdot 100 \Rightarrow \boxed{\% \text{ NaCl} = 38'16\%}$$

$$\% \text{ NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 100 - 38'16 \rightarrow \boxed{\% \text{ NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 61'84\%}$$

2 - FORMA TEORICA

Suponer una base de calculo: 100g

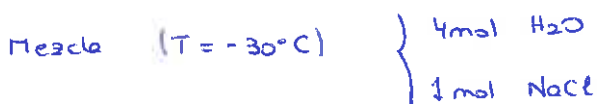
$$\frac{100g \cdot \frac{76'5}{100}}{58'45 \text{ g/mol}} \Rightarrow \underline{N = 1'3 \text{ mol}} \Rightarrow 0'65 \text{ mol NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$$

$$0'65 \text{ mol NaCl} \cdot \frac{58'5 \text{ g}}{1 \text{ mol NaCl}} = \underline{38'025 \text{ g}} \quad (38'025\%)$$

$$0'65 \text{ mol NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot \frac{94'5 \text{ g}}{1 \text{ mol NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = \underline{61'425 \text{ g}} \quad (61'425\%)$$

} 100g

b)



$$4 \text{ mol H}_2\text{O} \Rightarrow 72 \text{ g H}_2\text{O} \Rightarrow \underline{W_{\text{H}_2\text{O}} = 0'552}$$

$$1 \text{ mol NaCl} \Rightarrow \underline{58'45 \text{ g NaCl}} \Rightarrow \underline{W_{\text{NaCl}} = 0'448}$$

130'45 g

Vamos al grafico \Rightarrow FASE SOLIDA (NaCl·2H₂O + H₂O)

FORMA GRAFICA:



$$\% \text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{0.448 - 0}{0.62 - 0} \cdot 100 \Rightarrow \boxed{\% \text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 72.258\%}$$

$$\% \text{H}_2\text{O} = 100 - 72.258 \rightarrow \boxed{\% \text{H}_2\text{O} = 27.742\%}$$

c)

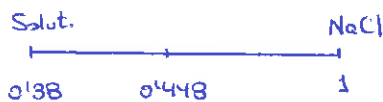
Mezcla ($T = 10^\circ\text{C}$) $\left\{ \begin{array}{l} 4 \text{ mol H}_2\text{O} \\ 1 \text{ mol NaCl} \end{array} \right.$

$$4 \text{ mol H}_2\text{O} \Rightarrow 72 \text{ g H}_2\text{O} \Rightarrow W_{\text{H}_2\text{O}} = 0.552$$

$$1 \text{ mol NaCl} \Rightarrow 58.45 \text{ g NaCl} \Rightarrow W_{\text{NaCl}} = 0.448$$

Vamos al diagrama \Rightarrow FASE SOLIDA (NaCl + Solution)

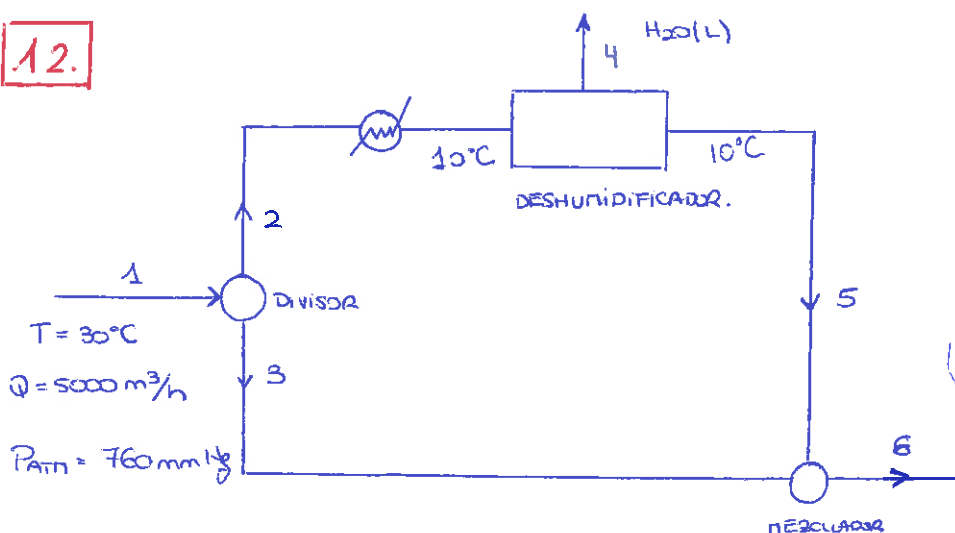
FORMA GRAFICA



$$\% \text{Solution} = \frac{1 - 0.448}{1 - 0.38} \cdot 100 \Rightarrow \boxed{\% \text{Solution} = 89.032\%}$$

$$\% \text{NaCl} = 100 - 89.032 \rightarrow \boxed{\% \text{NaCl} = 10.968\%}$$

12.



$$P_v (30^\circ\text{C}) = 31.5 \text{ mm Hg (H}_2\text{O)}$$

$$P_v (10^\circ\text{C}) = 9.04 \text{ mm Hg (H}_2\text{O)}$$

$$C_{p, \text{H}_2\text{O}} = 0.48 \text{ Kcal/kg} \cdot \text{K}$$

$$C_{p, \text{air}} = 0.2455 \text{ Kcal/kg} \cdot \text{K}$$

$$\Delta h_{\text{vap}} = 597.2 \text{ Kcal/kg}$$

$$Y = 0.013 \frac{\text{kg vap. agua}}{\text{kg air. seco.}}$$

Balance de masa total:

$$F^1 = F^4 + F^6$$

$$F_{Air}^1 = F_{Air}^6$$

$$F_{H_2O}^1 = F_{H_2O}^4 + F_{H_2O}^6$$

Mejor pasar el caudal que nos dan a kg/h para operar todo con F

$$y \equiv \text{FRACCION MOLAR} \equiv \frac{P_v}{P_T} \Rightarrow y_2 = \frac{31.5}{760} \rightarrow y_2 = \underline{\underline{0.041}} \text{ (H}_2\text{O)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 5000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0.041 = 207.24 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}/\text{h} \\ 5000 - 207.24 = 4792.76 \text{ m}^3 \text{ air}/\text{h} \end{array} \right.$$

VAPOR ACUAI

$$P V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow 1 \cdot 207.24 = n \cdot 0.082 \cdot (30 + 273) \rightarrow n = 8.34 \text{ kmol H}_2\text{O}/\text{h}$$

AIRE

$$P V = n R \cdot T \Rightarrow 1 \cdot 4792.76 = n \cdot 0.082 \cdot (30 + 273) \rightarrow n = 192.99 \text{ kmol air}/\text{h}$$

$$8.34 \text{ kmol H}_2\text{O}/\text{h} \xrightarrow{\times 18} 150.12 \text{ kg H}_2\text{O}/\text{h}$$

$$192.99 \text{ kmol air}/\text{h} \xrightarrow{\times 28.98} 5558.112 \text{ kg air}/\text{h}$$

$$\left. \begin{array}{l} 150.12 \text{ kg H}_2\text{O}/\text{h} \\ 5558.112 \text{ kg air}/\text{h} \end{array} \right\} \underline{\underline{F^1 = 5708.232 \text{ kg}/\text{h}}}$$

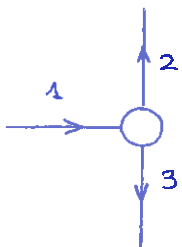
$$F_{H_2O}^6 = Y \cdot F_{Air}^1 = 0.013 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg air}} \cdot 5558.112 \frac{\text{kg air}}{\text{h}} \rightarrow F_{H_2O}^6 = 72.255 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{h}}$$

$$F^6 = F_{H_2O}^6 + F_{Air}^6 = 72.255 + 5558.112 \rightarrow \underline{\underline{F^6 = 5630.367 \text{ kg}/\text{h}}}$$

$$F_{H_2O}^4 = F_{H_2O}^1 - F_{H_2O}^6 = 150.12 - 72.255 \rightarrow$$

$$\underline{\underline{F_{H_2O}^4 = 77.87 \text{ kg}/\text{h}}}$$

DIVISOR:

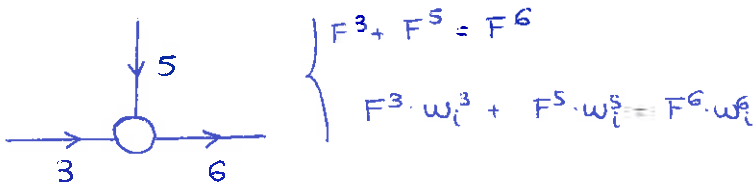


$$\left\{ \begin{array}{l} F^1 = F^2 + F^3 \\ W_3 = W_2 = W_3 \end{array} \right.$$

$$W_{H_2O}^1 = \frac{150.12}{5708.232} \Rightarrow \underline{\underline{W_{H_2O}^1 = 0.026}}$$

$$\underline{\underline{W_{Air}^1 = 0.974}}$$

MEZCLADOR



$$\begin{cases} F^3 + F^5 = F^6 \\ F^3 \cdot w_i^3 + F^5 \cdot w_i^5 = F^6 \cdot w_i^6 \end{cases}$$

$$y_5 = \frac{P_V}{P_T} = \frac{9'04}{760} \rightarrow y_5 = \underline{\underline{0'012}} \text{ (H}_2\text{O)}$$

SUPONEMOS UNA BASE DE CALCULO 1 kmol en la corriente 5:

$$1 \text{ kmol} \begin{cases} 0'012 \text{ kmol} \cdot 18 \text{ g/kmol} = 0'216 \text{ kg H}_2\text{O} \\ 0'988 \text{ kmol} \cdot 28'8 \text{ g/kmol} = 28'45 \text{ kg air} \end{cases} \left\{ \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} \\ \\ 28'67 \text{ kg} \end{array} \right.$$

$$W_{\text{H}_2\text{O}}^5 = \frac{0'216}{28'67} \Rightarrow \underline{\underline{W_{\text{H}_2\text{O}}^5 = 0'01}} \quad \underline{\underline{W_{\text{AIR}}^5 = 0'99}}$$

Aplicando las ecuaciones del mezclador:

$$F^3 = F^6 - F^5 = 5630'367 - 4633'41 \rightarrow \underline{\underline{F^3 = 996'957 \text{ kg/h}}}$$

$$(F^6 - F^5) \cdot W_{\text{H}_2\text{O}}^3 + F^5 \cdot W_{\text{H}_2\text{O}}^5 = 72'255 \Rightarrow (5630'367 - F^5) \cdot 0'026 + F^5 \cdot 0'01 = 72'255$$

$$\underline{\underline{F^5 = 4633'41 \text{ kg/h}}}$$

Aplicando la ecuación del divisor:

$$F^2 = F^4 - F^3 = 5708'232 - 996'957 \rightarrow \underline{\underline{F^2 = 4711'275 \text{ kg/h}}}$$

$$F_{\text{AIR}}^2 = F_{\text{AIR}}^5 \Rightarrow F^2 = F_{\text{H}_2\text{O}}^2 + F_{\text{AIR}}^2 \rightarrow F_{\text{H}_2\text{O}}^2 = 4711'275 - 4587'08 \rightarrow F_{\text{H}_2\text{O}}^2 = 124'195 \text{ kg/h}$$

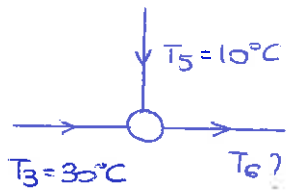
$$F_{\text{AIR}}^5 = W_{\text{AIR}}^5 \cdot F^5 = 0'99 \cdot 4633'41 \rightarrow F_{\text{AIR}}^5 = F_{\text{AIR}}^2 = 4587'08 \text{ kg/h}$$

Pasamos la corriente 2 a kmol/h:

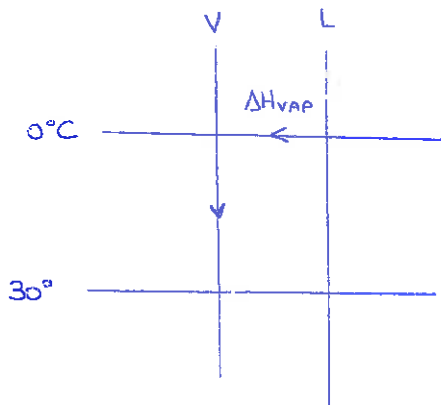
$$N^2 = \frac{124'195}{18} + \frac{4587'08}{28'8} \rightarrow \underline{\underline{N^2 = 166'17 \text{ kmol/h}}}$$

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow \dot{V} = 166'17 \cdot \frac{\text{Kmol}}{\text{h}} \cdot 0'082 \frac{\text{atm} \cdot \text{m}^3}{\text{Kmol} \cdot \text{K}} (10 + 273) \text{K}$$

$$\dot{V} = 3856'44 \text{ m}^3/\text{h}$$



$$\left. \begin{array}{l} T_{\text{REF}} = 0^\circ\text{C} \\ \text{H}_2\text{O (L)} \end{array} \right\}$$



$$\Delta H_6 \Big|_0^T = \Delta H_3 \Big|_0^{30} + \Delta H_5 \Big|_0^{10}$$

$$\Delta H = \underbrace{F_c [C_p (T - T_{\text{REF}})]}_{\text{AIRE}} + \underbrace{F_l [C_p (T - T_{\text{REF}}) + \Delta H_{\text{VAP}}]}_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$\Delta H_3 = \left[(0'974 \cdot 996'957) (0'2455 (30 - 0)) \right] + \left[(0'026 \cdot 996'957) (0'46 (30 - 0) + 597'2) \right]$$

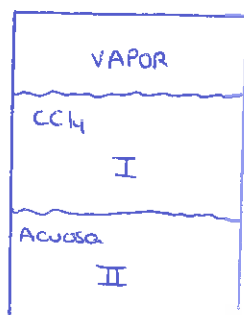
$$\Delta H_5 = \left[4587'08 (0'2455 (10 - 0)) \right] + \left[(0'01 \cdot 4633'31) (0'46 (10 - 0) + 597'2) \right]$$

$$\Delta H_6 = \left[(5630'367 - 72'255) (0'2455 (T - 0)) \right] + \left[72'255 (0'46 (T - 0) + 597'2) \right]$$

$$22989'34 + 39143'34 = 1397'75 T + 43150'686$$

$$T_6 = 14^\circ\text{C}$$

10.



$$X_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{I}} = 0'011\% \text{ en peso}$$

$$X_{\text{CCl}_4}^{\text{II}} = 0'033\% \text{ en peso}$$

$$\textcircled{\text{I}} \quad 100\text{g} \quad \left\{ \begin{array}{l} 0'011 \cdot \frac{1 \text{ mol}}{18\text{g}} = 6'11 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \\ 99'989 \cdot \frac{1 \text{ mol}}{154\text{g}} = 0'649 \text{ mol} \end{array} \right\} 0'649611 \text{ mol}$$

FRACCIONES MOLARES:

$$X_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{I}} = \frac{6'11 \cdot 10^{-4}}{0'649611} \rightarrow X_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{I}} = 9'41 \cdot 10^{-4}$$

$$X_{\text{CCl}_4}^{\text{I}} = \frac{0'649}{0'649611} \rightarrow X_{\text{CCl}_4}^{\text{I}} = 0'999059$$

$$\textcircled{\text{II}} \quad 100\text{g} \quad \left\{ \begin{array}{l} 0'083 \cdot \frac{1 \text{ mol}}{154\text{g}} = 5'39 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \\ 99'917 \cdot \frac{1 \text{ mol}}{18\text{g}} = 5'551 \text{ mol} \end{array} \right\} 5'551539 \text{ mol}$$

FRACCIONES MOLARES:

$$X_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{II}} = \frac{5'551}{5'551539} \rightarrow X_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{II}} = 0'999903$$

$$X_{\text{CCl}_4}^{\text{II}} = \frac{5'39 \cdot 10^{-4}}{5'551539} \rightarrow X_{\text{CCl}_4}^{\text{II}} = 9'7 \cdot 10^{-5}$$

COEFICIENTES DE ACTIVIDAD:

$$\bullet \quad \gamma_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{I}} \cdot X_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{I}} = \gamma_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{II}} \cdot X_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{II}} \Rightarrow \gamma_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{II}} \approx 1$$

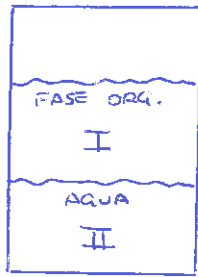
$$\gamma_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{I}} = \frac{X_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{II}}}{X_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{I}}} = \frac{0'999903}{9'41 \cdot 10^{-4}} \rightarrow \gamma_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{I}} = 1063$$

$$\bullet \quad \gamma_{\text{CCl}_4}^{\text{I}} \cdot X_{\text{CCl}_4}^{\text{I}} = \gamma_{\text{CCl}_4}^{\text{II}} \cdot X_{\text{CCl}_4}^{\text{II}} \Rightarrow \gamma_{\text{CCl}_4}^{\text{II}} \approx 1$$

$$\gamma_{\text{CCl}_4}^{\text{II}} = \frac{X_{\text{CCl}_4}^{\text{I}}}{X_{\text{CCl}_4}^{\text{II}}} = \frac{0'999059}{9'7 \cdot 10^{-5}} \rightarrow \gamma_{\text{CCl}_4}^{\text{II}} = 10300$$

11.

n-octano
AGUA.



$\Rightarrow X_{H_2O}^I = 0.26 \Rightarrow$

No es muy correcto porque con 0.26 de H₂O deberían de ser miscibles.

$\Rightarrow X_{OCT}^{II} = 0.7 \cdot 10^{-4}$

$X_{H_2O}^I = 0.26 \Rightarrow X_{OCT}^I = 0.74$

$X_{H_2O}^{II} = 0.999903 \Rightarrow X_{OCT}^{II} = 0.7 \cdot 10^{-4}$

$\gamma_{H_2O}^I \cdot X_{H_2O}^I = \gamma_{H_2O}^{II} \cdot X_{H_2O}^{II} \Rightarrow \gamma_{H_2O}^{II} \approx 1$

$\gamma_{H_2O}^I = \frac{0.999903}{0.26} \rightarrow \gamma_{H_2O}^I = 3.85$

$\gamma_{OCT}^{II} \cdot X_{OCT}^{II} = \gamma_{OCT}^I \cdot X_{OCT}^I \Rightarrow \gamma_{OCT}^I \approx 1$

$\gamma_{OCT}^{II} = \frac{0.74}{0.7 \cdot 10^{-4}} \rightarrow \gamma_{OCT}^{II} = 10571$

4.

	T [°C]	P (mm Hg)
HIELO	-4	3.280
	-2	3.380
AGUA	2	5.294
	4	6.101

SUBLIMACION
VAPORIZACION
FUSION
PUNTO TRIPLE DEL AGUA

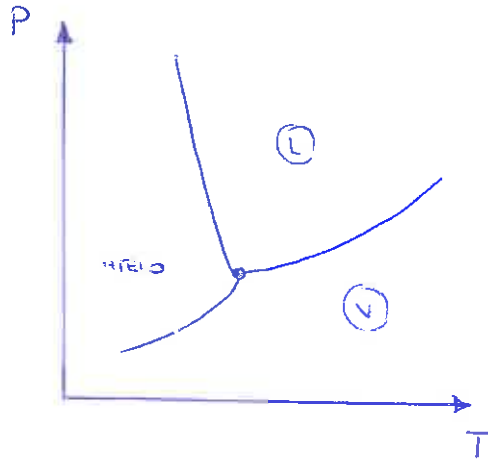
$\frac{\Delta H}{R} = - \frac{d(\ln P^{SAT})}{d(1/T)}$

$\frac{\Delta H_{sub}}{8.314} = - \frac{\ln \left(\frac{3.380}{3.280} \right)}{\left(\frac{1}{-2+273} - \frac{1}{-4+273} \right)}$

$\Rightarrow \Delta H_{sub} = 50908 \text{ J/mol} = 50.908 \text{ KJ/mol}$

$$\frac{\Delta H_{\text{VAP}}}{8'314} = - \frac{\ln\left(\frac{6'101}{5'294}\right)}{\left(\frac{1}{277} - \frac{1}{275}\right)} \Rightarrow \Delta H_{\text{VAP}} = 44'927 \text{ J/mol} = 44'927 \text{ KJ/mol}$$

$$\Delta H_{\text{FUS}} = \Delta H_{\text{SUB}} - \Delta H_{\text{VAP}} = 50'908 - 44'927 \Rightarrow \Delta H_{\text{FUS}} = 5'98 \text{ KJ/mol}$$



$$\frac{x_1 - x_2}{x - x_2} = \frac{y_1 - y_2}{y - y_2} \Rightarrow \begin{cases} \frac{275 - 277}{x - 277} = \frac{5294 - 6'101}{y - 6'101} \Rightarrow y' = a_1 \cdot x' + b_1 \\ \frac{269 - 271}{x - 271} = \frac{3230 - 3380}{y - 3380} \Rightarrow y'' = a_2 \cdot x'' + b_2 \end{cases}$$

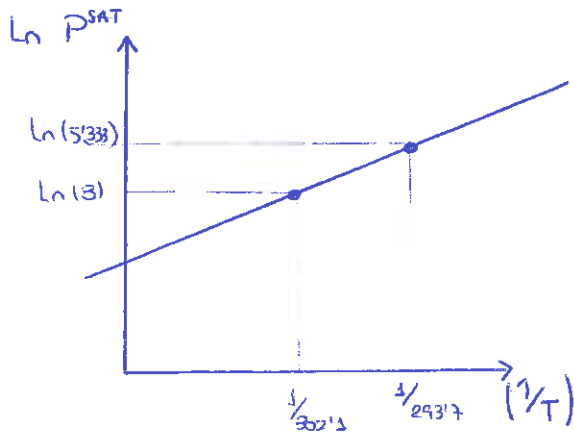
$$\begin{cases} a_1 \cdot x + b_1 = a_2 \cdot x + b_2 \Rightarrow (x \equiv \text{Temperatura del punto triple}) \\ y' = a_1 \cdot x + b_1 \Rightarrow (y' \equiv \text{Presion del punto triple}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} 2y = 0'807x - 211'337 \\ 2y = 0'6x - 154'84 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x \equiv T = 272'93 \text{ K} \\ y \equiv P = 4'458 \text{ mmHg} \end{cases}$$

5.

 $\Delta H(25^\circ\text{C}) \Rightarrow$ DE LA TABLA

$$\left. \begin{array}{l} T = 2517^\circ\text{C} ; P = 51333 \text{ kPa} \\ T = 2911^\circ\text{C} ; P = 8 \text{ kPa} \end{array} \right\}$$



$$\frac{\Delta H_{\text{VAP}}}{R} = - \frac{\ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right)}{\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)} \rightarrow \Delta H_{\text{VAP}} = - \frac{\ln \left(\frac{8}{51333} \right)}{\left(\frac{1}{3021} - \frac{1}{2937} \right)} \cdot 8314$$

$$\Delta H_{\text{VAP}}(25^\circ\text{C}) = 35613 \text{ J/mol} = 35.613 \text{ kJ/mol}$$

$$R = 1.987 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$R = 0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$R = 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

TEMA 2. FUNDAMENTOS DE TERMODINÁMICA QUÍMICA
EJERCICIOS

Ejercicio 1. A 100 g de agua a 10 °C se le agregan 500 cal. Determinar la temperatura final del agua en °C.

DATOS: $C_p = 1 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$

$$Q = m C_p \Delta T$$

Solución: 15 °C.

Ejercicio 2. Calcular la cantidad de calor que se requiere para cambiar 100 g de hielo a -15°C en agua a 25°C.

DATOS: $C_p(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = 1 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$; $C_p(\text{H}_2\text{O}, \text{s}) = 0.5 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$; $\Delta H_{\text{SL}}(0^\circ\text{C}) = 334 \text{ kJ/kg}$

Soluciones: $Q = 11.24 \text{ kcal}$

Ejercicio 3: En el proceso de tostación de la pirita (FeS_2) se obtiene óxido de hierro (III) y dióxido de azufre. Si las entalpías estándar de formación de cada compuesto son:

$$\Delta H_f^\circ(\text{pirita}) = -178.2 \text{ KJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ(\text{óxido de hierro (III)}) = -824.2 \text{ KJ/mol}$$

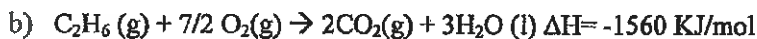
$$\Delta H_f^\circ(\text{dióxido de azufre}) = -296.8 \text{ KJ/mol}$$

Calcula la variación de entalpía que corresponde al proceso.

Solución: $\Delta H = -1655 \text{ KJ/mol}$

Ejercicio 4. Calcula la entalpía de la reacción de hidrogenación del eteno a etano:

$\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$ a partir de las entalpías de combustión del eteno, etano e hidrógeno:



Solución: $\Delta H = -136.8 \text{ KJ/mol}$

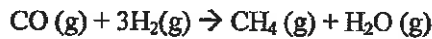
Ejercicio 5. Sabiendo que el calor de la reacción: $4\text{NH}_3(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ a 1 atm y 298 K es -279.33 kcal/mol. Calcular el calor de reacción a 920 °C, 1 atm y H_2O en fase vapor.

Los datos necesarios se encuentran en las tablas. \therefore No se puede encontrarlos

Solución: -216.4 kcal/mol

$\Delta H_c \equiv$ ENTALPIA DE COMBUSTIÓN
 TEMA 2. FUNDAMENTOS DE TERMODINÁMICA QUÍMICA
 EJERCICIOS
 $\Delta H_f \equiv$ ENTALPIA DE FORMACIÓN
 $\Delta H_r \equiv$ ENTALPIA DE REACCIÓN

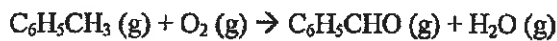
Ejercicio 6. Calcular el calor de reacción estándar para la reacción de metanación:



Los datos necesarios se encuentran en las tablas.

Solución: - 49.3 kcal/mol

Ejercicio 7. Calcular el calor de reacción estándar para la reacción de oxidación: (controlada)



DATOS:

$\Delta H_c, \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3\text{(l)}$ (superior a 18 °C) = -841.3 kcal/mol

! significa que el H₂O está en fase líquida

B ≡ benzaldehído

B = 106 g/mol (Peso molecular)

$\Delta H_f, \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3\text{(g)}$ (25 °C) = 11.95 kcal/mol

$\Delta H_{L,V}, \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ (179 °C) = 86.48 cal/g

$C_{pL}, \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 = 0.428 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$

$C_{pV}, \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 = 31 \text{ cal/mol}^\circ\text{C}$

* (UNIDADES)

CUIDADO CON LAS UNIDADES !!

$$\bar{C}_{pO_2(g)} = 7.0 \text{ cal/mol}^\circ\text{C}$$

$$\bar{C}_{pCO_2(g)} = 8.87 \text{ cal/mol}^\circ\text{C}$$

$$\bar{C}_{pH_2O(l)} = 18 \text{ cal/mol}^\circ\text{C}$$

Solución: ~~-56.56~~ kcal/mol

Ejercicio 8. La variación de entalpía de fusión del plomo sólido es de 4774 J/mol en el punto de fusión (327.5 °C)

de sólido a líquido

Las capacidades caloríficas molares son:

$$C_p \text{ Pb(s)} = 23.55 + 9.74 \cdot 10^{-3} T \text{ (J/mol K)}$$

$$C_p \text{ Pb(l)} = 32.21 - 2.76 \cdot 10^{-3} T \text{ (J/mol K)}$$

Calcula la diferencia de entropía entre el plomo sólido y el líquido subenfriados ambos a 307 °C y a presión constante.

Solución: $\Delta S = 7.906 \text{ J/mol K}$

Ejercicio 9. Analizar la posibilidad de reducir térmicamente con carbón, en condiciones estándar a 1000 °C los óxidos de silicio y aluminio a partir de los datos de ΔG° que corresponden a las reacciones de formación: $\text{SiO}_2 = -153$; $\text{CO} = -107$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = -203$, dados en kcal/molO₂ a esa temperatura.

Soluciones: $\Delta G^\circ(\text{SiO}_2) = 46$ kcal/mol no espontánea, $\Delta G^\circ(\text{Al}_2\text{O}_3) = 144$ kcal/mol no espontánea.

Ejercicio 10. Para la reacción: $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O}$ disponemos de los siguientes datos: $\Delta H^\circ_{\text{R}} = -495.2$ KJ/mol, $\Delta S^\circ_{\text{R}} = -135.9$ J/Kmol

Calcular ΔG° a 298 K e indicar si la reacción es espontánea. ¿Puede influir la temperatura en la espontaneidad? ¿por qué?

Soluciones: $\Delta G^\circ = -454.7$ kJ/mol, es espontáneo.

La temperatura afecta, pudiendo hacer que el valor de la energía libre de Gibbs sea positiva.

Ejercicio 11. La descomposición del carbonato cálcico (sólido) en óxido de calcio (sólido) y dióxido de carbono (gaseoso) ocurre (con una variación de entalpía estándar en la reacción de 43 kcal/mol) a 1200 K en un recipiente de 5 litros útiles que tiene en equilibrio 100 g de carbonato cálcico, 28 g de óxido de calcio y 2,2 g de dióxido de carbono. Calcular K_p y la variación de entropía estándar a 1200 K.

Ej. Químico

DATOS: Pesos atómicos: Ca = 40; O = 16; C = 12.

Soluciones: $K_c = 0.01$, $K_p = 0.984$, $\Delta G^\circ(1200) = -38.5$ cal/mol, $\Delta S^\circ(1200) = 35.8$ cal/mol K.

Ejercicio 12. Calcula para la reacción siguiente la variación de energía libre estándar y el valor de la constante de equilibrio. ¿Quién contribuye más en el valor de K, la variación de entalpía o la variación de entropía?



	$\Delta H_f^\circ(298 \text{ K})$ kcal/mol	$S^\circ(298 \text{ K})$ J/(mol K)	$\Delta G_f^\circ(298 \text{ K})$ kJ/mol
NO (g)	21.6	210.6	86.55
O ₃ (g)	34.0	238.8	163.2
NO ₂ (g)	8.09	238.95	51.29
O ₂ (g)	-	205.03	-

Soluciones: $\Delta G^\circ(298) = -198.5$ kJ/mol, $K_p(298) = 6.1 \times 10^3$, $\Delta H^\circ(298) = -198.6$ kJ/mol, $\Delta S^\circ(298) = -4.15$ J/mol K, tiene más efecto ΔH° .

Exotérmica.

aumento de entropía, su temperatura no varía.

Ejercicio 13. La reacción (ajustada) $M + N \rightleftharpoons P$ entre sustancias gaseosas, a las que se supone comportamiento ideal, ocurre a 500 K con una conversión de cada reactivo en producto en el equilibrio del 20 % cuando se parte de las siguientes condiciones iniciales: Presión de M 100 atm, presión de N 100 atm, presión de P nula.

No tenemos que tener en cuenta los cambios

- a) Calcular el valor de la constante de equilibrio a 500 K.
- b) Calcular ΔG° y ΔH° para la reacción a 500 K, sabiendo que la reacción transcurre hacia la derecha con una disminución estándar de entropía de 20 cal/K mol de P formado y sin cambio práctico del sumatorio de capacidades caloríficas. Analizar el efecto de la temperatura sobre el equilibrio.

$$\Delta S_r^\circ = -20 \text{ cal/K}\cdot\text{mol}$$

c) Para las condiciones iniciales citadas, calcular la presión final de equilibrio a 500 K, así como la composición de equilibrio, expresada en tanto por ciento en volumen. Discutir el efecto de la presión sobre el equilibrio.

d) **Partiendo a 500 K** de las condiciones: presión de M 20 atm, presión de N 10 atm y presión de P 100 atm deducir las condiciones del nuevo equilibrio a 500 K y expresar la composición como porcentaje en volumen.

$$K_p = 3 \cdot 10^{-3}$$

Soluciones: $K_p(500)=3.1E-3$, $\Delta G^\circ(500)=5.7 \text{ kcal/mol}$, $\Delta H^\circ(500)=-4.3 \text{ kcal/mol}$

Al aumentar la temperatura disminuye la producción de productos, si aumenta la presión la reacción se desplaza hacia los productos, P:12.2%, N:41.46%, M:46.34%.

Ejercicio 14. Se dispone de 10 g de Ca(OH)_2 sólido en un recipiente cerrado de 5 litros y se calienta para deshidratarlo, dando CaO sólido y vapor de agua. Suponiendo que la presión inicial del vapor de agua es una atmósfera,

- a) ¿Se deshidratará el Ca(OH)_2 a 400 °C? ¿Lo hará a 500 °C?
 Saber si ΔG° es positivo o negativo
- b) Hallar la temperatura a la que se iniciará la deshidratación.

	$\Delta H_f^\circ \text{ kcal/mol}$	$S^\circ \text{ cal/K mol}$
$\text{Ca(OH)}_2 \text{ (s)}$	-235.8	18.2
CaO(s)	-151.9	9.5
$\text{H}_2\text{O (g)}$	-57.8	45.1

Suponer que ΔH° y ΔS° no varían apreciablemente con la temperatura.

$$\begin{cases} \Delta H_r^\circ(T) = \Delta H_r^\circ(298\text{K}) \\ \Delta S_r^\circ(T) = \Delta S_r^\circ(298\text{K}) \end{cases}$$

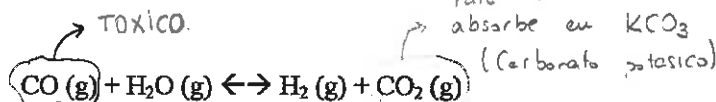
Soluciones:

$\Delta H^\circ=26.1 \text{ kcal/mol}$, $\Delta S^\circ=36.4 \text{ cal/mol K}$, $\Delta G^\circ(673)=1.60 \text{ kcal/mol}$ no espontánea, $\Delta G^\circ(773)=-2.04 \text{ kcal/mol}$ espontánea, $T=717 \text{ K}$

No se produce la deshidratación

Si se produce la deshidratación

Ejercicio 15. Para la reacción:



- Calcular ΔH° a las temperaturas de 298 y 1200 K.
- Calcular ΔS° a las temperaturas de 298 y 1200 K.
- Calcular ΔG° a las temperaturas de 298 y 1200 K, indicando a cada temperatura en qué sentido será espontánea la reacción si se parte de una mezcla de reactivos y de productos donde la presión parcial de cada uno sea una atmósfera.
- Calcular K_p a las temperaturas de 298 y 1200 K. Consecuencias que puedan establecerse de los valores calculados.
- No son condiciones de equilibrio.* Partiendo, como en el caso c) de una mezcla de reactivos y de productos a presión parcial de una atmósfera en cada uno, ¿se originarán productos de reacción a 298 y a 1200 K? ¿A cuál de las dos temperaturas sería mayor el rendimiento de la reacción y por qué causas?

	CO (g)	H ₂ O (g)	H ₂ (g)	CO ₂ (g)
H°(298) kcal/mol	-26.41	-57.79	-	-94.05
Cp J/mol K	26.8+0.006T	30.1+0.010T	28.5+0.003T	26.4+0.042T
S° cal/mol K (298K)	47.3	45.1	31.21	51.1

Soluciones:

$\Delta H^\circ(298) = -9.85$ kcal/mol, $\Delta H^\circ(1200) = -5.59$ kcal/mol, $\Delta S^\circ(298) = -10.09$ cal/mol K, $\Delta S^\circ(1200) = -4.5$ cal/mol K, $\Delta G^\circ(298) = -6.84$ kcal/mol, $\Delta G^\circ(1200) = -0.19$ kcal/mol, $K_p(298) = 102745.2$, $K_p(1200) = 1.08$, el rendimiento será mayor a 298 K.

Ejercicio 16. Calcular la presión parcial máxima a la que resulta termodinámicamente posible la reducción del óxido férrico a hierro metálico con carbón a 600°C, en los dos casos siguientes:

- Con formación de CO como única fase gaseosa.
 - Con formación de CO₂ como única fase gaseosa.
- $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{C} \rightleftharpoons 2\text{Fe} + 3\text{CO}$

Discutir además el efecto que tendría la variación de la presión del gas correspondiente, en el intervalo de 0.1 a 1.5 atm. sobre ambas reacciones.

	Cp medio Cal/K mol	$\Delta H_f^\circ(298 \text{ K})$ cal/mol	$S^0(298\text{K})$ cal/K mol
CO (g)	7.33	-26400	47.30
Fe (s)	7.65	-	6.49
C (s)	4.08	-	1.36
Fe ₂ O ₃ (s)	33.34	-196300	21.50
CO ₂ (g)	11.22	-94050	51.10

Soluciones:

a) $\Delta H^\circ(298)=117.1$ kcal/mol, $\Delta H^\circ(873)=112.3$ kcal/mol, $\Delta S^\circ(298)=129.3$ cal/mol K, $\Delta S^\circ(873)=120.39$ cal/mol K, $\Delta G^\circ(873)=7.2$ kcal/mol, $K_p(873)=0.016$, $P_{CO}=0.25$ atm a presiones menores la dirección favorable es la reducción.

b) $\Delta H^\circ(298)=110.45$ kcal/mol, $\Delta H^\circ(873)=102.02$ kcal/mol, $\Delta S^\circ(298)=132.18$ cal/mol K, $\Delta S^\circ(873)=116.4$ cal/mol K, $\Delta G^\circ(298)=71.06$ kcal/mol, $K_p(298)=8.6E-53$, $P_{CO_2(298)}=4.4E-18$ atm a presiones menores la dirección favorable es la reducción, $\Delta G^\circ(873)=402.8$ cal/mol, $K_p(873)=0.793$, $P_{CO_2(873)}=0.926$.

Ejercicio 17 La descomposición del carbonato cálcico se realiza en la práctica a temperatura elevada: $CaCO_3(s) \leftrightarrow CO_2(g) + CaO(s)$ A partir de los datos termodinámicos que se adjuntan:

- Calcular para $T=298$ K: ΔH° justificando como influye sobre la misma un aumento de T ; ΔS° explicando el significado del signo obtenido; ΔG° y K_p .
- Para $T=1273$ K, realizar los cálculos de las magnitudes anteriores.
- En condiciones termodinámicas estándares, determinar el sentido en que transcurre la reacción a ambas temperaturas.
- Si la descomposición se realiza a 1273 K y en la atmósfera del horno la presión parcial de CO_2 es 1.09 atm. Justificar la posibilidad de la reacción.
- Calcular la ΔG° de formación de las sustancias que participan en la reacción a 298 K y la ΔG° del proceso.

	$\Delta H_f^\circ(298\text{ K})$ kcal/mol	$S^\circ(298\text{ K})$ cal/K mol	C_p cal/mol K promedio
$CaCO_3(s)$	-288.8	22.2	20.8
$CaO(s)$	-151.8	9.8	11.2
$CO_2(g)$	-94.0	51.1	9.0
$Ca(s)$	-	9.95	-
$C(\text{grafito})$	-	1.37	-
$O_2(g)$	-	49.0	-

Soluciones:

$\Delta H^\circ(298)=43$ kcal/mol, si $T>298$ K $\Delta H^\circ(T)$ disminuye, $\Delta S^\circ(298)=38.7$ cal/mol K, $\Delta G^\circ(298)=-31467.4$ cal/mol, $K_p(298)=8.78E-24$, $\Delta H^\circ(1273)=42415$ cal/mol, $\Delta S^\circ(1273)=37.8$ cal/mol K, $\Delta G^\circ(1273)=-5704.4$ cal/mol espontáneo, $K_p(1273)=9.5$, a 1273 K con 1.09 atm la reacción ocurrirá hacia la formación de $CaO(s)$, $\Delta G_f^\circ(CO_2, 298)=-94217.5$ cal/mol, $\Delta G_f^\circ(CaO, 298)=-144454.3$ cal/mol, $\Delta G_f^\circ(CaCO_3, 298)=-270.1$ kcal/mol, $\Delta G_{proceso}^\circ(298)=31.5$ kcal/mol

Ejercicio 18. Se mantiene un gas ideal en un recipiente a volumen constante. Inicialmente su temperatura es 10°C y su presión es 2.5 atmósferas. ¿Cuál será la presión cuando la temperatura sea de 80°C ?

Solución: 3.12 atm

Ejercicio 19. Un conductor inicia su viaje en una fría mañana cuando la temperatura es 4°C , mide la presión de llanta y el manómetro marca 32 psi ($2.2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$). Después de conducir todo el día, las llantas se han calentado, y por la tarde la temperatura se ha elevado a 50°C . Asumiendo que el volumen es constante, ¿a qué presión se encontrará el aire en las llantas?

Solución: 2.74 bar

Ejercicio 20. En un recipiente cilíndrico se encuentra en equilibrio un émbolo pesado. Por encima del émbolo y por debajo de él se hallan masas iguales de gas a temperatura idéntica. La relación entre el volumen superior y el inferior es igual a 3. ¿Cuál será la relación de los volúmenes si aumentamos la temperatura del gas al doble?

Solución: 1.86

EJERCICIO 1

$$m = 100g \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} H_2O$$

$$T_i = 10^\circ C$$

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$500 \text{ cal} = 100g \cdot 1 \text{ cal/g}^\circ C \cdot (T_F - 10)$$

$$Q = 500 \text{ cal}$$

$$C_p = 1 \text{ cal/g}^\circ C$$

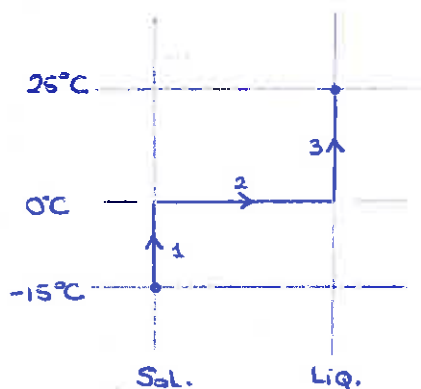
$T_F = 15^\circ C$

EJERCICIO 2

$$m = 100g \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} H_{IELO} \Rightarrow T_F = 25^\circ C \text{ H}_2O \text{ (liquida)}$$

$$T_i = -15^\circ C$$

$$C_p (H_2O, L) = 1 \text{ cal/g}^\circ C \quad ; \quad C_p (H_2O, S) = 0.5 \text{ cal/g}^\circ C \quad ; \quad \Delta H_{SL} (0^\circ C) = 334 \text{ KJ/kg}$$



$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 =$$

$$= m \cdot C_{pS} \cdot \Delta T + m \cdot \Delta H_{SL} + m \cdot C_{pL} \cdot \Delta T =$$

$$= 100 \cdot 0.5 \cdot (0 - (-15)) + 100 \cdot 79.794 + 100 \cdot 1 \cdot (25 - 0)$$

$Q = 11229.36 \text{ J} = 11.23 \text{ KJ}$

$$334 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000g} \cdot \frac{1000J}{1 \text{ KJ}} \cdot \frac{0.2389 \text{ cal}}{J} \rightarrow \underline{\underline{\Delta H_{SL} (0^\circ C) = 79.794 \frac{\text{cal}}{g}}}$$

EJERCICIO 3



$$\Delta H_F^\circ (\text{FeS}_2) = -178.2 \text{ KJ/mol}$$

$$\Delta H_F^\circ (\text{Fe}_2\text{O}_3) = -824.2 \text{ KJ/mol}$$

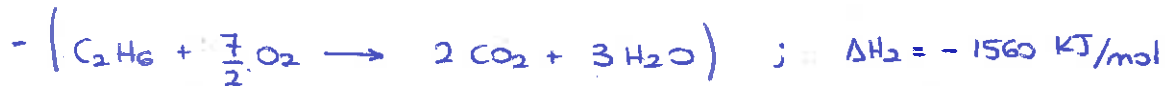
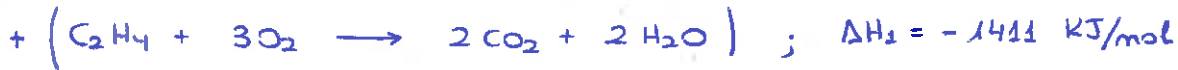
$$\Delta H_F^\circ (\text{SO}_2) = -296.8 \text{ KJ/mol}$$

$$\Delta H = \Delta H_f^\circ (\text{Fe}_2\text{O}_3) + 4 \Delta H_f^\circ (\text{SO}_2) - 2 \cdot \Delta H_f^\circ (\text{FeS}_2) =$$

$$= -824'2 + 4 (-296'8) - 2 (-178'2) \rightarrow$$

$$\Delta H = -1655 \text{ KJ/mol}$$

EJERCICIO 4



$$\Delta H_r^\circ = \Delta H_1 + \Delta H_3 - \Delta H_2 = -1411 - 285'8 - (-1560) \rightarrow$$

$$\Delta H_r^\circ = -136'8 \text{ KJ/mol}$$

EJERCICIO 5

$P = \text{cte}$



$$\left\{ \begin{array}{l} P = 1 \text{ atm} \\ T = 298 \text{ K} \\ \Delta H_r^\circ = -279'33 \text{ Kcal/mol} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P = 1 \text{ atm} \\ T = 920^\circ\text{C} \quad \underline{\text{H}_2\text{O VAPOR!}} \rightarrow T = 1193 \text{ K} \\ \Delta H_r^\circ ? \end{array} \right.$$

$$\Delta H_r^\circ (1193) = \Delta H_r^\circ (298) + \int_{298}^{1193} \left(\left[\sum C_p \right]_{\text{PROD}} - \left[\sum C_p \right]_{\text{REACT}} \right) dT =$$

$$= -279'33 + \int_{298}^{1193} \left[\left(4 \dot{C}_{p_{\text{NO}}} + 6 \dot{C}_{p_{\text{H}_2\text{O}}} \right) - \left(4 \dot{C}_{p_{\text{NH}_3}} + 5 \dot{C}_{p_{\text{O}_2}} \right) \right] dt$$

$$\boxed{\Delta H_r^\circ (1193) = -216'4 \text{ Kcal/mol}}$$

EJERCICIO 7



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{TOLUENO} \equiv \text{T} = \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 \\ \text{BENZALDEIDO} \equiv \text{B} = \text{C}_6\text{H}_5\text{CHO} \end{array} \right.$$

(e) $\Delta H_c(\text{B}) = -841.3 \text{ Kcal/mol}$ (superior a 18°C) \rightarrow Implica que el H_2O está en fase líquida.

(g) $\Delta H_f(\text{T}) = 11.95 \text{ Kcal/mol}$ (25°C)

$$\Delta H_{LV}(\text{B}) = 96.48 \text{ cal/g} (179^\circ\text{C}) = 9.1648 \text{ Kcal/mol.}$$

$$C_{pL}(\text{B}) = 0.428 \text{ cal/g}^\circ\text{C} = 45.368 \text{ cal/mol}^\circ\text{C}$$

$$C_{pV}(\text{B}) = 31 \text{ cal/mol}^\circ\text{C}$$

$$C_{p\text{O}_2(\text{g})} = 7 \text{ cal/mol}^\circ\text{C} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ Kcal/mol}^\circ\text{C}$$

$$C_{p\text{CO}_2(\text{g})} = 8.87 \text{ cal/mol}^\circ\text{C} = 8.87 \cdot 10^{-3} \text{ Kcal/mol}^\circ\text{C} \quad \text{P.M. (B)} = 106 \text{ g/mol. !!!}$$

$$C_{p\text{H}_2\text{O}(\text{l})} = 18 \text{ cal/mol}^\circ\text{C} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ Kcal/mol}^\circ\text{C}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta H_f(\text{CO}_2) = -94.01 \text{ Kcal/mol} \\ \Delta H_f(\text{H}_2\text{O})_L = -68.4 \text{ Kcal/mol} \\ \Delta H_f(\text{H}_2\text{O})_G = -57.8 \text{ Kcal/mol.} \end{array} \right\} (298\text{K})$$

Cuidado con las temperaturas.!

$$\Delta H_r^\circ(298) = \Delta H_f^\circ(298)(\text{B}) + \Delta H_f^\circ(298)(\text{H}_2\text{O}) - \Delta H_f^\circ(298)(\text{T})$$

??



$$\Delta H_c(291) = 7 \Delta H_f(\text{CO}_2) + 3 \Delta H_f(\text{H}_2\text{O}) - \Delta H_f(\text{B})$$

$$\Delta H_c(298) = \Delta H_c(291) + \int_{291}^{298} [(\sum C_p)_{\text{PROD.}} - (\sum C_p)_{\text{REACT.}}] dT \rightarrow$$

$$\Delta H_c(298) = -841'3 + \left[(7 \cdot 8'87 \cdot 10^{-3} + 3 \cdot 18 \cdot 10^{-3}) - (8 \cdot 7 \cdot 10^{-3} + 45'368 \cdot 10^{-3}) \right] (298 - 291)$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\Delta H_c^\circ(298) = -841'2 \text{ Kcal/mol}}}$$

$$\Delta H_c^\circ(298) = 7 \cdot \Delta H_F(298)_{(CO_2)} + 3 \Delta H_F(298)_{(H_2O)} - \Delta H_F(298)_{(B)}$$

$$-841'2 = 7 \cdot (-94'01) + 3(-68'4) - \Delta H_F(298)_{(B)} \Rightarrow \underline{\underline{\Delta H_F(298)_{(B)} = -22'07 \text{ Kcal/mol}}}$$

En fase líquida.

$$\Delta H_F(298)_{(B)_g} = \Delta H_F(298)_{(B)_L} + \Delta H_{LV}(298)_{(B)}$$

$$\Delta H_{LV}(452) = H_V(452) - H_L(452) =$$

$$= \left(H_V(298) + \int_{298}^{452} C_{P_V} dT \right) - \left(H_L(298) + \int_{298}^{452} C_{P_L} dT \right) =$$

$$= \underbrace{[H_V(298) - H_L(298)]}_{\Delta H_{LV}(298)} + \int_{298}^{452} C_{P_V} dT - \int_{298}^{452} C_{P_L} dT \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 9'3648 = \Delta H_{LV}(298) + 31 \cdot 10^{-3} (452 - 298) - 45'368 \cdot 10^{-3} (452 - 298)$$

$$\underline{\underline{\Delta H_{LV}(298) = 11'377 \text{ Kcal/mol}}}$$

$$\Delta H_F(298)_{(B)_g} = -22'07 + 11'377 \rightarrow \underline{\underline{\Delta H_F(298)_{(B)_g} = -10'693 \text{ Kcal/mol}}}$$

$$\Delta H_r^\circ(298) = -10'693 - 57'8 - 11'95 \rightarrow \underline{\underline{\Delta H_r^\circ(298) = -80'44 \text{ Kcal/mol}}}$$

EJERCICIO 8

FUSION \Rightarrow DE SOLIDO A LIQUIDO

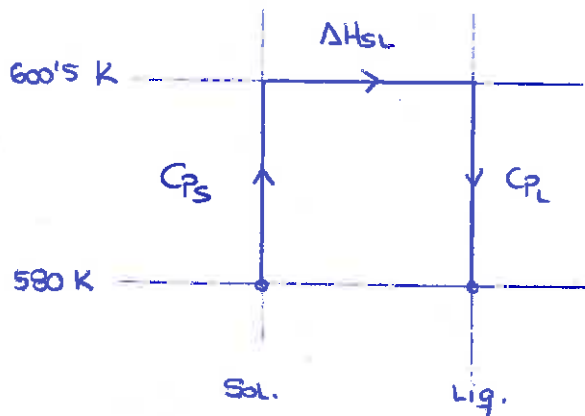
P = CTE

$$\Delta H_{SL}(\text{Pb}) = 4774 \text{ J/mol} \quad (T_{\text{Fus.}}^{\circ} = 327.5^{\circ}\text{C})$$

$$T_{\text{END.}} = 307^{\circ}\text{C}$$

$$C_p(\text{Pb})_s = 23.55 + 9.74 \cdot 10^{-3} T \quad (\text{J/mol}\cdot\text{K})$$

$$C_p(\text{Pb})_l = 32.21 - 2.76 \cdot 10^{-3} T \quad (\text{J/mol}\cdot\text{K})$$



$$\Delta S = \int C_p \frac{dT}{T}$$

$$\Delta S = \int_{580}^{600.5} C_{p_s} \frac{dT}{T} + \int_{600.5}^{600.5} \Delta H_{SL} \frac{dT}{T} + \int_{600.5}^{580} C_{p_l} \frac{dT}{T} =$$

$$= \int_{580}^{600.5} (23.55 + 9.74 \cdot 10^{-3} T) \frac{dT}{T} + \Delta H_{SL} \cdot \frac{1}{T} + \int_{600.5}^{580} (32.21 - 2.76 \cdot 10^{-3} T) \frac{dT}{T} =$$

$$= 23.55 \cdot \ln(T) \Big|_{580}^{600.5} + 9.74 \cdot 10^{-3} T \Big|_{580}^{600.5} + \frac{4774}{600.5} + 32.21 \cdot \ln(T) \Big|_{600.5}^{580} - 2.76 \cdot 10^{-3} T \Big|_{600.5}^{580}$$

$$= 0.818 + 0.19967 + 7.95 - 1.1188 + 0.05658 \rightarrow$$

$$\Delta S = 7.905 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

EJERCICIO 9

$$T = 1000^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta G_f^{\circ}(\text{SiO}_2) = -153 \text{ Kcal/mol O}_2$$

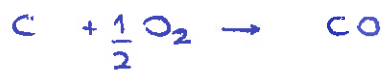
$$\Delta G_f^{\circ}(\text{CO}) = -107 \text{ Kcal/mol O}_2$$

$$\Delta G_f^{\circ}(\text{Al}_2\text{O}_3) = -203 \text{ Kcal/mol O}_2$$

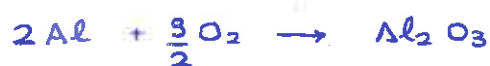
Tenemos que tener cuidado por que las unidades nos las dan por moles de O_2 , entonces, tendremos que pasarlas a lo general.



$$-153 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol O}_2} \cdot \frac{1 \text{ mol O}_2}{1 \text{ mol SiO}_2} \rightarrow \underline{\underline{\Delta G_f^\circ (\text{SiO}_2) = -153 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}}}}$$



$$-107 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol O}_2} \cdot \frac{0.5 \text{ mol O}_2}{1 \text{ mol CO}} \rightarrow \underline{\underline{\Delta G_f^\circ (\text{CO}) = -53.5 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}}}}$$



$$-203 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol O}_2} \cdot \frac{1.5 \text{ mol O}_2}{1 \text{ mol Al}_2\text{O}_3} \rightarrow \underline{\underline{\Delta G_f^\circ (\text{Al}_2\text{O}_3) = -304.5 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}}}}$$



$$\Delta G^\circ (\text{SiO}_2) = 2 \Delta G_f^\circ (\text{CO}) + \cancel{\Delta G_f^\circ (\text{Si})} - 2 \cancel{\Delta G_f^\circ (\text{C})} - \Delta G_f^\circ (\text{SiO}_2) =$$

$$= 2 (-53.5) - (-153) \rightarrow \boxed{\Delta G^\circ (\text{SiO}_2) = 46 \text{ Kcal/mol}}$$

$\Delta G > 0 \Rightarrow$ no es espontanea.



$$\Delta G^\circ (\text{Al}_2\text{O}_3) = 2 \cancel{\Delta G_f^\circ (\text{Al})} + 3 \Delta G_f^\circ (\text{CO}) - 3 \cancel{\Delta G_f^\circ (\text{C})} - \Delta G_f^\circ (\text{Al}_2\text{O}_3) =$$

$$= 3 (-53.5) - (-304.5) \rightarrow \boxed{\Delta G^\circ (\text{Al}_2\text{O}_3) = 144 \text{ Kcal/mol}}$$

$\Delta G > 0 \Rightarrow$ no espontanea.

EJERCICIO 10



$$\Delta H_r^\circ = -485'2 \text{ KJ/mol}$$

$$\Delta G_r^\circ (298K) ?$$

$$\Delta S_r^\circ = -135'9 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$-135'9 \frac{\text{J}}{\text{kmol}} \cdot \frac{1 \text{ KJ}}{1000 \text{ mol}} \rightarrow \underline{\underline{\Delta S_r^\circ = -0'1359 \text{ KJ/mol}\cdot\text{K}}}$$

$$\Delta G_r^\circ (298) = \Delta H_r^\circ - T \cdot \Delta S_r^\circ =$$

$$= -485'2 - (298) (-0'1359) \rightarrow \boxed{\Delta G_r^\circ = -454'7 \text{ KJ/mol}}$$

$\Delta G < 0 \Rightarrow$ REACCION ESPONTANEA.

La temperatura si puede influir en la espontaneidad, ya que si esta aumenta considerablemente puede hacer tender a la energia libre de Gibbs a que sea positiva.

EJERCICIO 11



$$T = 1200 \text{ K}$$

$$\Delta H_r^\circ = 43 \text{ Kcal/mol} =$$

$$= 43 \cdot 10^3 \text{ cal/mol}$$

$$V = 5 \text{ L}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} CaCO_3 \rightarrow m = 100 \text{ g} \\ CaO \rightarrow m = 28 \text{ g} \\ CO_2 \rightarrow m = 2'2 \text{ g} \end{array} \right.$$

$$P.A. (Ca) = 40 \text{ g}$$

$$P.A. (O) = 16 \text{ g}$$

$$P.A. (C) = 12 \text{ g}$$

$$K_c = \frac{[CO_2]}{V} = \frac{n_{CO_2}}{V} = \frac{0'05}{5} \rightarrow \boxed{K_c = 0'01}$$

ES EL UNICO
EN ESTADO GAS.

$$P.M. (CO_2) = 12 + 2 \cdot 16 = 44 \text{ g/mol} \rightarrow n_{CO_2} = \frac{2'2}{44} \rightarrow \underline{\underline{n_{CO_2} = 0'05 \text{ mol}}}$$

$$K_p = K_c (R \cdot T)^{\Delta n}$$

$$\Delta n = (c + d) - (a + b) = (1 + 1) - (1) \rightarrow \underline{\underline{\Delta n = 1}}$$

$$K_p = 0'01 (0'082 \cdot 1200)^1 \rightarrow \boxed{K_p = 0'984}$$

$$\Delta G_r = \Delta G_r^\circ + R \cdot T \ln K_p \rightarrow \text{En equilibrio químico } (\Delta G_r \rightarrow 0)$$

$$\Delta G_r^\circ (T) = - R \cdot T \cdot \ln K_p \Rightarrow \Delta G_r^\circ (1200 \text{ K}) = - 1'987 \cdot 1200 \cdot \ln (0'984)$$

$$\underline{\underline{\Delta G_r^\circ = 38'46 \text{ cal/mol}}}$$

$$\Delta G_r^\circ (1200) = \Delta H_r^\circ (1200) - T \cdot \Delta S_r^\circ (1200) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 38'46 = 43 \cdot 10^3 - 1200 \cdot \Delta S_r^\circ \rightarrow \boxed{\Delta S_r^\circ = 35'8 \text{ cal/mol} \cdot \text{K}}$$

EJERCICIO 12



$$\Delta G_r^\circ = \Delta G_f^\circ (\text{NO}_2) + \cancel{\Delta G_f^\circ (\text{O}_2)} - \Delta G_f^\circ (\text{O}_3) - \Delta G_f^\circ (\text{NO}) =$$

$$= 51'29 - 163'2 - 86'55 \rightarrow \boxed{\Delta G_r^\circ (298) = -198'46 \text{ kJ/mol}}$$

$$-198'46 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \cdot \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ kJ}} \rightarrow \underline{\underline{\Delta G_r^\circ (298) = -198460 \text{ J/mol}}}$$

$$\Delta G_r^\circ (T) = - R \cdot T \cdot \ln K_p \Rightarrow -198460 = -8'314 \cdot 298 \cdot \ln K_p \rightarrow$$

$$\boxed{K_p = 6'14 \cdot 10^{34}}$$

$$\Delta H_r^\circ (298) = \Delta H_f^\circ (\text{NO}_2) - \Delta H_f^\circ (\text{NO}) - \Delta H_f^\circ (\text{O}_3) =$$

$$= 8'09 - 21'6 - 34 \rightarrow \underline{\underline{\Delta H_r^\circ (298) = -47'51 \text{ kcal/mol}}}$$

$$-47'51 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} \cdot \frac{1000\text{cal}}{4\text{Kcal}} \cdot \frac{1\text{J}}{0'2389\text{cal}} \cdot \frac{1\text{KJ}}{1000\text{J}} \rightarrow \boxed{\Delta H_r^\circ = -198'89 \text{ KJ/mol}}$$

$$\Delta S_r^\circ = \Delta S_f^\circ(\text{O}_2) + \Delta S_f^\circ(\text{NO}_2) - \Delta S_f^\circ(\text{NO}) - \Delta S_f^\circ(\text{O}_3) =$$

$$= 205'03 + 238'95 - 238'8 - 210'6 \rightarrow \boxed{\Delta S_r^\circ = -5'42 \text{ J/mol}\cdot\text{K}}$$

Podemos observar como ΔH_r° contribuye mas en el valor de K , ya que es un valor bastante mas alto que el de ΔS_r° .

EJERCICIO 13



$$T=500\text{K}$$

!! % Conv. = 20%. (En el equilibrio).

$$\text{C.I.} \begin{cases} \text{M: } P = 100 \text{ atm} \\ \text{N: } P = 100 \text{ atm} \\ \text{P: } P = 0 \text{ atm.} \end{cases}$$

a)

atm	$\text{M} + \text{N} \rightleftharpoons \text{P}$		
INICIO	100	100	0
	100-x	100-x	x
Eq.	80	80	20

\Rightarrow Conversion 20%.

$$K_p = \frac{P_p}{P_M \cdot P_N} = \frac{20}{80 \cdot 80} \rightarrow \boxed{K_p = 3'125 \cdot 10^{-3}}$$

b)

$$\Delta S_r^\circ = -20 \text{ cal/mol}\cdot\text{K} \quad (\text{P})$$

$$T=500\text{K} = \text{CTE} \rightarrow K_p \text{ NO VARIA.}$$

$$\Delta G_r^\circ = -R \cdot T \cdot \ln K_p = -1'987 \cdot 500 \cdot \ln(3'125 \cdot 10^{-3}) \rightarrow$$

$$\boxed{\Delta G_r^\circ = 5730'82 \text{ cal/mol} = 5'73 \text{ Kcal/mol}}$$

$$\Delta G_r^\circ(500) = \Delta H_r^\circ(500) - T \cdot \Delta S_r^\circ(500)$$

$$5730'82 = \Delta H_r^\circ(500) - 500(-20) \rightarrow$$

$$\Delta H_r^\circ(500) = -4269'47 \text{ cal/mol} = -4'27 \text{ Kcal/mol}$$

c) $T = 500 \text{ K}$. (equilibrio)

$$P_{\text{TOTAL}} (\text{Eq}) = 80 + 80 + 20 \rightarrow P_T = 180 \text{ atm}$$

$$\% \text{ Volumen} = \% P_{\text{PARCIALES}} \left\{ \begin{array}{l} \text{N)} \frac{80}{180} \rightarrow \% \text{N} = 44'44\% \\ \text{N)} \frac{80}{180} \rightarrow \% \text{N} = 44'44\% \\ \text{P)} \frac{20}{180} \rightarrow \% \text{P} = 11'11\% \end{array} \right.$$

d) $T = 500 \text{ K}$

$$K_p = 3'125 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{C.I.} \left\{ \begin{array}{l} \text{N)} P_N = 20 \text{ atm} \\ \text{N)} P_N = 10 \text{ atm} \\ \text{P)} P_P = 100 \text{ atm} \end{array} \right.$$

atm	$\text{N} + \text{N} \rightleftharpoons \text{P}$		
INICIO	20	10	← 100
	$20+x$	$10+x$	$100-x$
EQ.	95	85	25

Analizamos en que sentido ocurre la reacción.

$$Q_p = \frac{P_P}{P_N \cdot P_N} = \frac{100}{20 \cdot 10} \rightarrow Q_p = 0'5$$

$$Q_p = 0'5 \gg K_p = 3'125 \cdot 10^{-3}$$



$$K_p = \frac{P_P}{P_N \cdot P_N} = \frac{100-x}{(20+x)(10+x)} = 3'125 \cdot 10^{-3}$$

$$(100-x) = 3'125 \cdot 10^{-3} x^2 + 0'09375 x + 0'625$$

$$3'125 \cdot 10^{-3} x^2 + 1'09375 x - 99'375 = 0$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x = 75 \\ x = -425 \end{array} \right.$$

$$P_{\text{TOTAL}} = 95 + 85 + 25 \rightarrow \underline{P_T = 205 \text{ atm}}$$

$$M: \frac{95}{205} \rightarrow$$

$$M = 46'34\%$$

$$N: \frac{85}{205} \rightarrow$$

$$N = 41'46\%$$

$$P: \frac{25}{205} \rightarrow$$

$$P = 12'2\%$$

EJERCICIO 14

$$m = 10g \text{ Ca(OH)}_2$$



$$V = 5L$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ atm}$$

$$\Delta H^\circ, \Delta S^\circ \text{ NO VARIAN} \Rightarrow \begin{cases} \Delta H_r^\circ (T) = \Delta H_r^\circ (298) \\ \Delta S_r^\circ (T) = \Delta S_r^\circ (298) \end{cases}$$

$$a) T = 400^\circ\text{C} = 673 \text{ K} \quad ; \quad T = 500^\circ\text{C} = 773 \text{ K}$$

$$\Delta H_r^\circ = \Delta H_f^\circ (\text{H}_2\text{O}) + \Delta H_f^\circ (\text{CaO}) - \Delta H_f^\circ (\text{Ca(OH)}_2) =$$

$$= -57'8 - 151'9 - (-235'8) \rightarrow \underline{\Delta H_r^\circ = 26'1 \text{ Kcal/mol}}$$

$$\Delta S_r^\circ = S^\circ (\text{H}_2\text{O}) + S^\circ (\text{CaO}) - S^\circ (\text{Ca(OH)}_2) =$$

$$= 45'1 + 9'5 - 18'2 \rightarrow \underline{\Delta S_r^\circ = 36'4 \text{ cal/mol}\cdot\text{K}}$$

$$\Delta G_r^\circ (673) = \Delta H_r^\circ - T \cdot \Delta S_r^\circ = 26'1 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} - 673 \text{ K} \cdot 36'4 \frac{\text{cal}}{\text{mol}\cdot\text{K}} \cdot \frac{1 \text{ Kcal}}{1000 \text{ cal}}$$

$$\Delta G_r^\circ (673) = 1'6028 \text{ Kcal/mol}$$

$\Delta G^\circ > 0 \Rightarrow$ NO SE DESHIDRATA.

$$\Delta G_r^\circ (773) = \Delta H_r^\circ - T \cdot \Delta S_r^\circ = 26'1 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} - 773 \text{ K} \cdot 36'4 \frac{\text{cal}}{\text{mol}\cdot\text{K}} \cdot \frac{1 \text{ Kcal}}{1000 \text{ cal}}$$

$$\Delta G_r^\circ (773) = -2'0372 \text{ Kcal/mol}$$

$\Delta G^\circ < 0 \Rightarrow$ Si se deshidrata.

b) Comenzara la hidratación para el caso de cuando $\Delta G^\circ < 0$ empieza a ser ese valor.

$$\Delta G < 0 \rightarrow 26'1 - T \cdot 36'4 \cdot \frac{1}{1000} < 0 \Rightarrow$$

$$T = 717'03 \text{ K}$$

EJERCICIO 15

a)

$$\Delta H_r^\circ (298) = \Delta H_f^\circ (\text{CO}_2) + \Delta H_f^\circ (\text{H}_2) - \Delta H_f^\circ (\text{H}_2\text{O}) - \Delta H_f^\circ (\text{CO}) =$$

$$= -94'05 + 0 - (-57'79) - (-26'41) \rightarrow \boxed{\Delta H_r^\circ (298) = -9'85 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}}}$$

$$\Delta H_r^\circ (1200) = \Delta H_r^\circ (298) + \int_{298}^{1200} \left[\left(\sum C_p \right)_{\text{PROD.}} - \left(\sum C_p \right)_{\text{REACT.}} \right] dT =$$

$$= -9'85 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} \cdot \frac{1000 \text{ cal}}{1 \text{ Kcal}} \cdot \frac{4'1858 \text{ J}}{1 \text{ cal}} + \int_{298}^{1200} \left[(26'4 + 0'042T) + (28'5 + 0'003T) - \right.$$

$$\left. - (30'1 + 0'01T) - (26'8 + 0'006T) \right] dT =$$

$$= -41230'13 + \int_{298}^{1200} (26'4 + 28'5 - 30'1 - 26'8) dT + \int_{298}^{1200} (0'042T + 0'003T - 0'01T - 0'006T) dT$$

$$= -41230'13 + \left(-2T \right) \Big|_{298}^{1200} + 0'029 \frac{T^2}{2} \Big|_{298}^{1200} \Rightarrow \underline{\underline{\Delta H_r^\circ (1200) = -23441'788 \text{ J/mol}}}$$

$$\Delta H_r^\circ (1200) = -23441'788 \frac{\text{J}}{\text{mol}} \cdot \frac{1 \text{ cal}}{4'1858 \text{ J}} \cdot \frac{1 \text{ Kcal}}{1000 \text{ cal}} \rightarrow \boxed{\Delta H_r^\circ (1200) = -5'6 \text{ Kcal/mol}}$$

b)

$$\Delta S_r^\circ (298) = \Delta S_f^\circ (\text{CO}_2) + \Delta S_f^\circ (\text{H}_2) - \Delta S_f^\circ (\text{H}_2\text{O}) - \Delta S_f^\circ (\text{CO}) =$$

$$= 51'1 + 31'21 - 45'1 - 47'3 \rightarrow \boxed{\Delta S_r^\circ (298) = -10'09 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}}}$$

$$\Delta S_r^\circ (1200) = \Delta S_r^\circ (298) + \int_{298}^{1200} \left(\sum C_p \right)_{\text{Prod.}} - \left(\sum C_p \right)_{\text{React.}} \frac{dT}{T} =$$

$$= -10'08 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot \frac{4'1858 \text{ J}}{1 \text{ cal}} + \int_{298}^{1200} \left[(26'4 + 0'042T) + (28'5 + 0'003T) - \right.$$

$$\left. - (30'1 + 0'01T) - (26'8 + 0'006T) \right] \frac{dT}{T} =$$

$$= -42'2347 + \int_{298}^{1200} (26'4 + 28'5 \cdot 10^{-5} T - 30'1 \cdot 10^{-8} T^2 - 26'3 \cdot 10^{-11} T^3) \frac{dT}{T} + \int_{298}^{1200} (0'042 T + 0'003 T^2 - 0'01 T^3 - 0'006 T^4) \frac{dT}{T}$$

$$= -42'2347 + (-2) \cdot \ln \left(\frac{1200}{298} \right) + 0'029 (1200 - 298) \rightarrow \underline{\underline{\Delta S_r^\circ (1200) = -13'86 \frac{J}{\text{mol} \cdot K}}}$$

$$\Delta S_r^\circ (1200) = -13'86 \frac{J}{\text{mol} \cdot K} \cdot \frac{1 \text{ cal}}{4'1858 J} \rightarrow \boxed{\Delta S_r^\circ (1200) = -4'51 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot K}}$$

c)

$P = 1 \text{ atm}$ (en reactivos y productos).

$$\Delta G_r^\circ (298) = \Delta H_r^\circ (298) - T \cdot (\Delta S_r^\circ (298)) =$$

$$= -9'85 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} - 298 \cdot \left(-10'09 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot K} \cdot \frac{1 \text{ Kcal}}{1000 \text{ cal}} \right) \rightarrow \boxed{\Delta G_r^\circ (298) = -6'84 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}}}$$

$\Delta G < 0 \rightarrow$ Espontanea (\rightarrow)

$$\Delta G_r^\circ (1200) = \Delta H_r (1200) - T \Delta S_r^\circ (1200) =$$

$$= -5'6 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} - 1200 \cdot \left(-4'51 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot K} \cdot \frac{1 \text{ Kcal}}{1000 \text{ cal}} \right) \rightarrow \boxed{\Delta G_r^\circ (1200) = -0'138 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}}}$$

$\Delta G < 0 \Rightarrow$ Espontanea (\rightarrow).

d)

$$\Delta G_r^\circ (298) = -RT \cdot \ln K_p \rightarrow -6'84 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} \cdot 1000 = -1'987 \cdot 298 \cdot \ln K_p \rightarrow \boxed{K_p = 103942'74}$$

$$\Delta G_r^\circ (1200) = -R \cdot T \cdot \ln K_p \rightarrow -0'138 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} \cdot \frac{1000 \text{ cal}}{1 \text{ Kcal}} = -1'987 \cdot 1200 \cdot \ln K_p \rightarrow \boxed{K_p = 1'03}$$

e)

$P = 1 \text{ atm}$ (en reactivos y productos)

$$Q_p = \frac{P_{\text{CO}_2} \cdot P_{\text{H}_2}}{P_{\text{H}_2\text{O}} \cdot P_{\text{CO}}} = \frac{1 \cdot 1}{1 \cdot 1} \rightarrow \underline{\underline{Q_p = 1}} \quad \left\{ \begin{array}{l} K_p = 103942'74 \\ K_p = 1'03 \end{array} \right.$$

$$\boxed{Q_p < K_p \quad (\Rightarrow)}$$

EJERCICIO 46

$$T = 600^{\circ}\text{C} = 873 \text{ K}$$



Como la única fase gaseosa es del CO, solo obtendremos una presión parcial, que es precisamente la que nos piden.

$$\begin{aligned} \Delta H_r^{\circ}(298) &= 3 \Delta H_f^{\circ}(\text{CO}) + 2 \Delta H_f^{\circ}(\text{Fe}) - 3 \Delta H_f^{\circ}(\text{C}) - \Delta H_f^{\circ}(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \\ &= 3(-26400) + 0 - 0 - (-196300) \rightarrow \Delta H_r^{\circ}(298) = 117100 \text{ cal/mol} \\ &= \underline{\underline{117.1 \text{ Kcal/mol}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_r^{\circ}(873) &= \Delta H_r^{\circ}(298) + \int_{298}^{873} (\sum C_{p,\text{prod.}} - \sum C_{p,\text{react.}}) dT = \\ &= 117100 + \int_{298}^{873} [(3 \cdot 7'33 + 2 \cdot 7'65) - (3 \cdot 4'08 + 33'34)] dT = \\ &= 117100 + (-8'29)(873-298) \rightarrow \Delta H_r^{\circ}(873) = 112333'25 \frac{\text{cal}}{\text{mol}} = \underline{\underline{112'3 \text{ Kcal/mol}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta S_r^{\circ}(298) &= 3 \Delta S_r^{\circ}(\text{CO}) + 2 \Delta S_r^{\circ}(\text{Fe}) - 3 \Delta S_r^{\circ}(\text{C}) - \Delta S_r^{\circ}(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \\ &= 3 \cdot 47'3 + 2 \cdot 6'49 - 3 \cdot 1'36 - 21'5 \rightarrow \Delta S_r^{\circ}(298) = \underline{\underline{129'3 \text{ cal/mol}\cdot\text{K}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta S_r^{\circ}(873) &= \Delta S_r^{\circ}(298) + \int_{298}^{873} (\sum C_{p,\text{prod.}} - \sum C_{p,\text{react.}}) \frac{dT}{T} = \\ &= 129'3 + \int_{298}^{873} [(3 \cdot 7'33 + 2 \cdot 7'65) - (3 \cdot 4'08 + 33'34)] \frac{dT}{T} = \\ &= 129'3 + (-8'29) \ln\left(\frac{873}{298}\right) \rightarrow \Delta S_r^{\circ}(873) = \underline{\underline{120'39 \text{ cal/mol}\cdot\text{K}}} \end{aligned}$$

$$\Delta G_r^{\circ}(873) = \Delta H_r^{\circ}(873) - T \cdot \Delta S_r^{\circ}(873) =$$

$$= 112'3 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} - 873 \cdot \text{K} \cdot 120'39 \frac{\text{cal}}{\text{mol}\cdot\text{K}} \cdot \frac{1 \text{ Kcal}}{1000 \text{ cal}} \rightarrow \Delta G_r^{\circ}(873) = \underline{\underline{7'2 \text{ Kcal/mol}}}$$

En el equilibrio:

$$\Delta G_r^\circ(T) = -R \cdot T \cdot \ln K_p \rightarrow 7'2 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} \cdot \frac{1000 \text{ cal}}{1 \text{ Kcal}} = -1'987 \cdot 873 \cdot \ln K_p$$

$$\underline{\underline{K_p = 0'016}}$$

$$K_p = [P_{\text{CO}}]^3 \rightarrow 0'016 = (P_{\text{CO}})^3 \rightarrow P_{\text{CO}} = \sqrt[3]{0'016} \rightarrow \boxed{P_{\text{CO}} = 0'25 \text{ atm}}$$

Intervalo de presiones: $0'1 < P < 1'5$ (atm).

$0'1 < P < 0'25 \rightarrow$ ocurriría una reducción.

b)



$$\Delta H_r^\circ(298) = 3 \Delta H_f^\circ(\text{CO}_2) + 4 \Delta H_f^\circ(\text{Fe}) - 3 \Delta H_f^\circ(\text{C}) - 2 \Delta H_f^\circ(\text{Fe}_2\text{O}_3) =$$

$$= 3(-94050) + 0 - 0 - 2(-196350) \rightarrow \Delta H_r^\circ(298) = 110450 \text{ cal/mol} =$$
$$\underline{\underline{110'450 \text{ Kcal/mol}}}$$

$$\Delta H_r^\circ(873) = \Delta H_r^\circ(298) + \int_{298}^{873} (\sum C_{p,\text{prod.}} - \sum C_{p,\text{react.}}) dT =$$

$$= 110450 + \int_{298}^{873} [(4 \cdot 7'65 + 3 \cdot 11'22) - (2 \cdot 33'34 + 3 \cdot 4'08)] dT =$$

$$= 110450 + (-14'66)(873 - 298) \rightarrow \Delta H_r^\circ(873) = 102020'5 \text{ cal/mol} =$$
$$\underline{\underline{102'02 \text{ Kcal/mol}}}$$

$$\Delta S_r^\circ(298) = 3 \Delta S_f^\circ(\text{CO}_2) + 4 \Delta S_f^\circ(\text{Fe}) - 3 \Delta S_f^\circ(\text{C}) - 2 \Delta S_f^\circ(\text{Fe}_2\text{O}_3) =$$

$$= 3 \cdot 51'1 + 4 \cdot 6'49 - 3 \cdot 1'36 - 2 \cdot 21'5 \rightarrow \Delta S_r^\circ(298) = 132'18 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$
$$\underline{\underline{132'18 \text{ cal/mol} \cdot \text{K}}}$$

$$\Delta S_r^\circ (873) = \Delta S_r^\circ (298) + \int_{298}^{873} (\sum C_{p_{\text{prod}}} - \sum C_{p_{\text{react}}}) \frac{dT}{T} =$$

$$= 132'18 + \int_{298}^{873} [(3 \cdot 11'22 + 4 \cdot 7'65) - (3 \cdot 4'08 + 2 \cdot 33'34)] \frac{dT}{T} =$$

$$= 132'18 + (-14'66) \cdot \ln \left(\frac{873}{298} \right) \rightarrow \underline{\underline{\Delta S_r^\circ (873) = 116'4 \text{ cal/mol} \cdot \text{K}}}$$

$$\underline{T = 298 \text{ K}}$$

$$\Delta G_r^\circ (T) = -R \cdot T \cdot \ln K_p$$

$$\Delta G_r^\circ (T) = \Delta H_r^\circ (T) - T \Delta S_r^\circ (T) =$$

$$= 110'450 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} - 298 \text{ K} \cdot 132'18 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot \frac{1 \text{ Kcal}}{1000 \text{ cal}} \rightarrow \underline{\underline{\Delta G_r^\circ (298) = 71'06 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}}}}$$

$$71'06 \cdot 1000 = -1'987 \cdot 298 \cdot \ln K_p \rightarrow \underline{\underline{K_p = 7'6 \cdot 10^{-53}}}$$

$$K_p = (P_{\text{CO}_2})^3 \rightarrow 7'6 \cdot 10^{-53} = (P_{\text{CO}_2})^3 \rightarrow \underline{\underline{P_{\text{CO}_2} = 4'24 \cdot 10^{-18} \text{ atm}}}$$

$$\underline{T = 873 \text{ K}}$$

$$\Delta G_r^\circ (873) = \Delta H_r^\circ (873) - T \cdot \Delta S_r^\circ (873) =$$

$$= 102'02 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} - 873 \cdot 116'4 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot \frac{1 \text{ Kcal}}{1000 \text{ cal}} \rightarrow \Delta G_r^\circ (873) = 0'4028 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}}$$

$$= \underline{\underline{402'8 \text{ cal/mol}}}$$

$$\Delta G_r^\circ (T) = -R \cdot T \cdot \ln K_p \rightarrow 402'8 \frac{\text{cal}}{\text{mol}} = -1'987 \cdot 873 \cdot \ln K_p \rightarrow \underline{\underline{K_p = 0'793}}$$

$$K_p = (P_{\text{CO}_2})^3 \rightarrow 0'793 = (P_{\text{CO}_2})^3 \rightarrow \boxed{P_{\text{CO}_2} = 0'926 \text{ atm}}$$

$0'1 < P < 0'926 \Rightarrow$ Ocurrirá una reducción.

EJERCICIO 17

a) T = 298 K

$$\Delta H_r^\circ (298) = \Delta H_f^\circ (\text{CaO}) + \Delta H_f^\circ (\text{CO}_2) - \Delta H_f^\circ (\text{CaCO}_3) =$$

$$= (-151'8) + (-94) - (-288'8) \rightarrow \boxed{\Delta H_r^\circ (298) = 43 \text{ Kcal/mol}}$$

A temperaturas más elevadas que T = 298 K, lo que ocurrirá, es que el término entálpico disminuye.

$$\Delta S_r^\circ (298) = \Delta S_f^\circ (\text{CaO}) + \Delta S_f^\circ (\text{CO}_2) - \Delta S_f^\circ (\text{CaCO}_3) =$$

$$= 9'8 + 51'1 - 22'2 \rightarrow \boxed{\Delta S_r^\circ (298) = 38'7 \text{ cal/mol} \cdot \text{K}}$$

Como el valor entropico es positivo, habrá un momento donde la energía libre de Gibbs sea negativa. Siendo a altas temperaturas más importante el término entropico que el entálpico.

$$\Delta G_r^\circ (298) = \Delta H_r^\circ (298) - T \cdot \Delta S_r^\circ (298) =$$

$$= 43 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} \cdot \frac{1000 \text{ cal}}{1 \text{ Kcal}} - 298 \cdot 38'7 \rightarrow \boxed{\Delta G_r^\circ (298) = 31467'4 \text{ cal/mol}}$$

$$\Delta G_r^\circ (T) = -R \cdot T \cdot \ln K_p \Rightarrow \text{En el equilibrio!}$$

$$31467'4 = -1'987 \cdot 298 \cdot \ln K_p \rightarrow \boxed{K_p = 8'32 \cdot 10^{-24}}$$

b)

T = 1273 K

$$\Delta H_r^\circ (1273) = \Delta H_r^\circ (298) + \int_{298}^{1273} (\sum C_{p \text{ prod.}} - \sum C_{p \text{ react}}) dT =$$

$$= 43 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} \cdot \frac{1000 \text{ cal}}{1 \text{ Kcal}} + \int_{298}^{1273} [(11'2 + 9) - (20'8)] dT =$$

$$= 43000 + (-0'6) \cdot (1273 - 298) \rightarrow \boxed{\Delta H_r^\circ(1273) = 42415 \text{ cal/mol}}$$

$$\Delta S_r^\circ(1273) = \Delta S_r^\circ(298) + \int_{298}^{1273} (\sum C_{p, \text{prod}} - \sum C_{p, \text{react}}) \frac{dT}{T} =$$

$$= 33'7 + \int_{298}^{1273} [(11'2 + 9) - (20'3)] \frac{dT}{T} =$$

$$= 33'7 + (-0'6) \cdot \ln\left(\frac{1273}{298}\right) \rightarrow \boxed{\Delta S_r^\circ(1273) = 37'83 \text{ cal/mol} \cdot \text{K}}$$

$$\Delta G_r^\circ(1273) = \Delta H_r^\circ(1273) - T \cdot \Delta S_r^\circ(1273) =$$

$$= 42415 - 1273 \cdot 37'83 \rightarrow \boxed{\Delta G_r^\circ(1273) = -5741'03 \text{ cal/mol}}$$

$$\Delta G_r^\circ(T) = -R \cdot T \cdot \ln K_p \Rightarrow \text{En el equilibrio.}$$

$$-5741'03 = -1'987 \cdot 1273 \cdot \ln K_p \Rightarrow \boxed{K_p = 9'68}$$

c)

$$\Delta G_r^\circ(298) = 31467'4 \text{ cal/mol} > 0 \Rightarrow \text{Ocurre hacia la izquierda.}$$

$$\Delta G_r^\circ(1273) = -5741'03 \text{ cal/mol} < 0 \Rightarrow \text{Ocurre hacia la derecha.}$$

d)

$$T = 1273 \text{ K}$$

$$K_p(1273) = 9'68$$

$$P_{\text{CO}_2} = 1'09 \text{ atm (Condición inicial)}$$

$$Q_p = P_{\text{CO}_2} \rightarrow \underline{\underline{Q_p = 1'09}}$$

$$9'68 > 1'09 \Rightarrow \boxed{K_p > Q_p} \Rightarrow \text{La reacción ocurre hacia la derecha.}$$

e)



$$\Delta S_j^\circ (298) = \Delta S (\text{CO}_2) - \Delta S (\text{C}) - \Delta S (\text{O}_2) =$$

$$= 51.1 - 1.37 - 49 \rightarrow \underline{\underline{\Delta S_j^\circ (298) = 0.73 \text{ cal/mol} \cdot \text{K}}}$$

$$\Delta H_j^\circ (298) = \Delta H (\text{CO}_2) - \Delta H (\text{C}) - \Delta H (\text{O}_2) =$$

$$\approx -94 \text{ Kcal/mol} \rightarrow \underline{\underline{\Delta H_j^\circ = -94 \text{ Kcal/mol} = -94000 \text{ cal/mol}}}$$

$$\Delta G_j^\circ (\text{CO}_2) = \Delta H_j^\circ (298) - T \cdot \Delta S_j^\circ (298) =$$

$$= -94000 - 298 \cdot 0.73 \rightarrow \boxed{\Delta G_j^\circ (\text{CO}_2) = -94217.54 \text{ cal/mol}}$$



$$\Delta H_j^\circ (298) = \Delta H (\text{CaO}) - \Delta H (\text{Ca}) - \frac{1}{2} \Delta H (\text{O}_2) =$$

$$\approx -151.8 \text{ Kcal/mol} \rightarrow \underline{\underline{\Delta H_j^\circ = -151.8 \text{ Kcal/mol} = -151800 \text{ cal/mol}}}$$

$$\Delta S_j^\circ (298) = \Delta S (\text{CaO}) - \Delta S (\text{Ca}) - \frac{1}{2} \Delta S (\text{O}_2) =$$

$$= 9.8 - 9.95 - \frac{14.9}{2} \rightarrow \underline{\underline{\Delta S_j^\circ (298) = -24.65 \text{ cal/mol} \cdot \text{K}}}$$

$$\Delta G_j^\circ (\text{CaO}) = \Delta H_j^\circ (298) - T \Delta S_j^\circ (298) =$$

$$= -151800 - 298 \cdot (-24.65) \rightarrow \boxed{\Delta G_j^\circ (\text{CaO}) = -144454.3 \text{ cal/mol}}$$



$$\Delta H_j^\circ (\text{CaCO}_3) = -283.8 \text{ Kcal/mol} = -283800 \text{ cal/mol}$$

$$\Delta S_j^\circ (298) = \Delta S_j^\circ (\text{CaCO}_3) - \Delta S (\text{CaO}) - \Delta S (\text{CO}_2) =$$

$$= 22'2 - 9'8 - 51'1 \rightarrow \underline{\underline{\Delta S_j^\circ (\text{CaCO}_3) = -33'7 \text{ cal/mol}\cdot\text{K}}}$$

$$\Delta G_j^\circ (\text{CaCO}_3) = -288800 - 298 (-33'7) \rightarrow \boxed{\Delta G_j^\circ (\text{CaCO}_3) = -277267'4 \frac{\text{cal}}{\text{mol}}}$$



$$\Delta G_{\text{proceso}} = \Delta G_j^\circ (\text{CaO}) + \Delta G_j^\circ (\text{CO}_2) - \Delta G_j^\circ (\text{CaCO}_3) =$$

$$= -144454'3 - 94217'54 - (-277267'4) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta G_{\text{proceso}} (298\text{K}) = 33595'56 \frac{\text{cal}}{\text{mol}} = 38'6 \text{ Kcal/mol}}$$

EJERCICIO 13

GAS IDEAL $\rightarrow V = \text{cte} \Rightarrow$ LOS MOLES SE CONSERVAN!!!

$$\text{C.I.} \begin{cases} T = 10^\circ\text{C} \\ P = 2'5 \text{ atm} \end{cases}$$

$$\text{Final} \rightarrow \begin{cases} T = 30^\circ\text{C} \\ P = ? \end{cases}$$

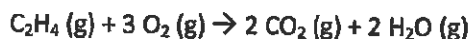
$$P_1 \cdot V = n \cdot R \cdot T_1 \rightarrow n = \frac{P_1 \cdot V}{R \cdot T_1} = \frac{2'5 \cdot V}{0'082 \cdot 283} \rightarrow \underline{\underline{n = 0'108 V}}$$

$$P_2 \cdot V = n \cdot R \cdot T_2 \rightarrow P_2 \cdot V = 0'108 \cdot V \cdot 0'082 \cdot (30 + 273)$$

$$\boxed{P_2 = 3'12 \text{ atm}}$$

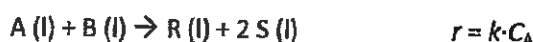
TEMA 6. CUESTIONES Y PROBLEMAS

1. A un tiempo determinado la velocidad de reacción de la oxidación de etileno es 0.23 mol/(L s). ¿Cuáles son las velocidades de los otros componentes de la reacción?



Solución: $-r_{\text{O}_2} = 0.69 \text{ mol O}_2/(\text{L s}); r_{\text{CO}_2} = r_{\text{H}_2\text{O}} = 0.46 \text{ mol CO}_2/(\text{L s}).$

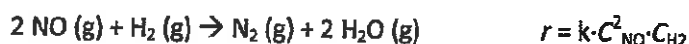
2. La ecuación cinética para la siguiente reacción es:



Si el valor de la constante cinética es de 0.009 h^{-1} , calcular: a) La velocidad de reacción para $C_A = 0.02 \text{ M}$; b) la velocidad de aparición de S en estas condiciones.

Solución: a) $r = 1.8 \cdot 10^{-4} \text{ mol}/(\text{L h})$; b) $r_S = 3.6 \cdot 10^{-4} \text{ mol S}/(\text{L h}).$

3. La ecuación cinética para la siguiente reacción es:



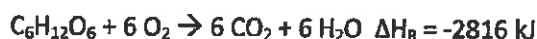
¿Cuál será el efecto sobre la velocidad a) si se dobla la concentración de NO?; b) si la concentración de H_2 se reduce a la mitad? ¿Cuáles son las unidades de la constante cinética?

Solución: a) $r^{(a)} = 4 \cdot r$; b) $r^{(b)} = 1/2 \cdot r$; c) $[k] = [\text{L}^2/(\text{mol}^2 \text{ min})].$

4. Un motor de cohete quema una mezcla estequiométrica de combustible (hidrógeno líquido) con un oxidante (oxígeno líquido). La cámara de combustión es cilíndrica, de 75 cm de largo por 60 cm de diámetro, y el proceso de combustión produce 108 kg/s de gases de escape. Si la combustión es completa, calcular la velocidad de desaparición del oxígeno y el hidrógeno.

Solución: $-r_{\text{H}_2} = 2.83 \cdot 10^4 \text{ mol H}_2/(\text{m}^3 \text{ s}); -r_{\text{O}_2} = 1.42 \cdot 10^4 \text{ mol O}_2/(\text{m}^3 \text{ s}).$

5. El ser humano (75 kg) consume diariamente 6000 kJ de alimentos. Suponiendo que esta alimentación fuere solo glucosa, la reacción de oxidación sería la siguiente:



Hallar la velocidad del metabolismo (velocidad de la actividad humana) en moles de O_2 consumidos por m^3 de persona y por día.

Solución: $-r_{\text{O}_2} = 170 \text{ mol O}_2/(\text{m}^3 \text{ día}).$

6. Escribe la ley de velocidad para cada una de las siguientes reacciones elementales y clasifícalas como unimoleculares, bimoleculares o termoleculares:

- a) $2 \text{NO} (\text{g}) \rightarrow \text{N}_2\text{O}_2 (\text{g})$
 b) $\text{Cl}_2 (\text{g}) \rightarrow 2 \text{Cl} (\text{g})$
 c) $2 \text{NO}_2 (\text{g}) \rightarrow \text{NO} (\text{g}) + \text{NO}_3 (\text{g})$

Solución: a) $r = k \cdot C_{\text{NO}}^2$, reacción bimolecular; b) $r = k \cdot C_{\text{Cl}_2}$, reacción unimolecular; c) $r = k \cdot C_{\text{NO}_2}^2$, reacción bimolecular.

7. La velocidad de una reacción elemental de segundo orden ($\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{prod}$) es $4,5 \cdot 10^{-7} \text{ mol cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ cuando la concentración de uno de los reactivos es $1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$ y la del otro es $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$. Calcular la constante de velocidad en $\text{cm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ y en $\text{L mol}^{-1} \text{ min}^{-1}$.

Solución: $k = 1.2 \cdot 10^4 \text{ cm}^3/(\text{mol L}) = 720 \text{ L}/(\text{mol min}).$

*Importa que es de 2º orden
 si fuera r^{-2} es primer orden*

*Las unidades de k son una
 pista para saber el orden de
 la reacción química*

8. Para la reacción hipotética $A + B \rightarrow C + D$, la energía de activación es de 32 kJ/mol mientras que para la reacción inversa este valor es de 58 kJ/mol. ¿Es exotérmica o endotérmica la reacción?

Solución: La reacción directa es exotérmica.

9. La energía de activación para una determinada reacción es $9,32 \cdot 10^4$ J mol⁻¹. Si a 27 °C la constante de velocidad es $1,25 \cdot 10^{-2}$ L mol⁻¹ s⁻¹, determinar la constante cinética a 127 °C. ¿A qué temperatura esa misma reacción tendrá una constante cinética $k = 2,5 \cdot 10^{-2}$ L mol⁻¹ s⁻¹?

Solución: $k(127\text{ °C}) = 142$ L/(mol s).

10. Una reacción elemental de primer orden con una $E_a = 15$ kJ/mol transcurre a 25°C. Si se cataliza la reacción, se consigue rebajar la energía de activación hasta la mitad sin alterar ningún otro parámetro.

a.- ¿Cómo afecta esto a la velocidad de la reacción?

b.- ¿A qué temperatura habría que realizar el proceso sin catalizar para que su velocidad coincidiera con la del proceso catalizado a 25°C?

Es el que mayor E_a tiene.

c.- ¿Cómo afecta la catálisis a la entalpía de reacción? Razona la respuesta.

Solución: a) Aumenta en torno a 21 veces respecto al proceso sin catalizar; b) $T = 325$ °C; c) No afecta.

11. En un reactor continuo de mezcla completa se efectúa la siguiente reacción en fase líquida homogénea, con una conversión del 50 %.



Calcular la conversión si el reactor se sustituye por otro seis veces mayor, sin modificar las demás condiciones. b) Calcúlese la conversión si se sustituye el reactor primitivo de mezcla completa por un reactor de flujo en pistón de igual tamaño, sin modificar las demás condiciones.

Solución:

12. Se desea llevar a cabo la reacción de primer orden $A \rightarrow B$ en un reactor discontinuo operado isotérmicamente para obtener 5890,5 moles de B por día, con una conversión del 99% del reactivo A alimentado. La operación de carga y de calefacción del reactor hasta la temperatura de reacción requiere 0.38 horas, y descargarlo y prepararlo para la siguiente carga otras 0.9 horas. Calcular el volumen de reactor necesario sabiendo que en las condiciones de reacción la constante cinética vale $0,015$ min⁻¹, que la alimentación es reactivo A puro ($C_{A0} = 8,5$ mol/L) y que el reactor puede trabajar como máximo 13 horas por día.

Solución: $V = 350$ L.

13. En una instalación industrial se lleva a cabo una reacción $A+B \rightarrow C$ en disolución acuosa, en un reactor continuo de tanque agitado. La ecuación cinética del proceso se puede expresar como $-r_A = kC_A C_B$, y el valor de la constante cinética es de $0,2$ L/(mol min). A la salida del reactor, el producto C se separa de los reactivos no reaccionados mediante la extracción en continuo con un disolvente selectivo. Si la alimentación al reactor es de 10 l/min y la concentración en la alimentación es $C_{A0} = 2$ mol/L y $C_{B0} = 2$ mol/L, calcular:

a) El volumen del reactor necesario para que la producción de C en el reactor sea de 900 mol/h.

- b) El caudal que abandonará la etapa de extracción si se quiere recuperar en el extracto el 90% del producto C.

Dato: $K_D = 30$

NOTA: suponer que no hay cambios de volumen en el sistema.

Solución: a) $V = 300$ L; b) $Q = 180$ L/h.

- 14) La reacción de primer orden $A \rightarrow B$ se efectúa en un reactor tubular en el que el caudal volumétrico, v , es constante. Determinar el volumen de reactor necesario para reducir la concentración de salida al 10% de la concentración de entrada, cuando el caudal volumétrico es de 10 L/min y la constante de velocidad, k , de 0.23 min^{-1} .

Solución: a) $V = 100$ L.

- 15) La hidrólisis enzimática de la sacarosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$) para producir azúcar invertido (glucosa y fructosa ($C_6H_{12}O_6$)), presenta a 15°C una constante de velocidad de $1,38 \cdot 10^{-3} \text{ min}^{-1}$. Se ha de diseñar un reactor de flujo pistón de sección 50 m^2 , para el tratamiento de $0,6 \text{ kg} \cdot \text{min}^{-1}$ de una melaza (disolución acuosa de azúcar) de densidad $1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, que contiene un 10% en peso de sacarosa. Si se quiere alcanzar una conversión del 90%, ¿cuál debe ser la longitud del mismo?

Solución: $L = 15.4$ m.

16. A temperatura elevada y presión inicial de 350 mm Hg el acetaldehído se descompone según la reacción:



Para definir el proceso, se determina la variación de la presión total en un reactor de laboratorio, obteniéndose los siguientes resultados:

t (s)	30	95	266	665	1463
P (mm Hg)	380	446	525	599	640

Comprobar que la reacción es de segundo orden y determinar el valor de la constante específica de velocidad.

Solución: $k = 9.42 \cdot 10^{-6} \text{ 1/(mmHg s)}$.

17. En un recipiente que contiene 5000 mL de NaOH 0,1 M a 25°C , se añaden 44 g de acetato de etilo y se mezclan para producir la siguiente reacción:



Cada cierto tiempo se toman muestras de 15,0 mL y se valoran con HCl 0,1 M con objeto de determinar el exceso de sosa existente durante el transcurso de la reacción. El resultado obtenido se muestra en la siguiente tabla:

t (min)	30	60	120	300	600
V_{HCl} (mL)	10,90	8,55	6,00	3,20	1,80

Se pide:

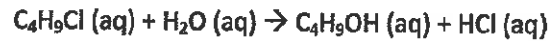
- Representar la concentración de acetato de sodio a medida que transcurre la reacción.
- Determinar el orden de reacción y calcular el valor de la constante de la reacción.
- Calcular el tiempo necesario para que reaccione la mitad del éster.

Suponer que la adición del acetato de etilo y la toma de muestras no cambian significativamente el volumen de la disolución.

Datos: Masas atómicas (g/mol): H = 1; C = 12; O = 16; Na = 23.

Solución: b) Reacción de orden 2, $k = 0.12 \text{ L}/(\text{mol min})$; c) $t = 82 \text{ min}$.

18. La concentración de cloruro de butilo, $\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$, es medida a diferentes tiempos para la siguiente reacción:



Representar la variación de la concentración del reactivo, determinar el orden de la reacción y determinar la velocidad de reacción de desaparición de este compuesto a 550 s.

t (s)	$C_{\text{cicloprop.}}$ (mol/L)	t (s)	$C_{\text{cicloprop.}}$ (mol/L)
0	0.195	400	0.0449
50	0.170	500	0.0368
100	0.145	600	0.0301
150	0.120	700	0.0247
200	0.105	800	0.0202
300	0.0549	900	0.0165

Solución: Reacción de primer orden ($k = 2 \cdot 10^{-3} \text{ 1/s}$); $-r_{\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}} (t = 550\text{s}) = 6.7 \cdot 10^{-5} \text{ mol}/(\text{L s})$.

19. Determinar la ecuación cinética de la isomerización irreversible de ciclopropano (A) a propeno (B) en fase gas a temperatura constante (497 °C), a partir de los datos obtenidos en un reactor discontinuo de volumen constante recogidos en la siguiente tabla:

t (min)	C_A (mol/L)	t (min)	C_A (mol/L)
0	0.195	25	0.090
5	0.170	30	0.075
10	0.145	35	0.065
15	0.120	40	0.055
20	0.105	45	0.045

Solución: $-r_A (\text{mol}/(\text{min L})) = 3.13 \cdot 10^{-2} (1/\text{min}) \cdot C_A (\text{mol/L})$.

TEMA 6 : CINÉTICA QUÍMICA

1.

$$r_{\text{C}_2\text{H}_4} = 0'23 \text{ mol/L}\cdot\text{s}$$



$$r = -\frac{1}{a} r_A = -\frac{1}{b} r_B = -\frac{1}{c} r_C = \dots = 0'23 \text{ mol/L}\cdot\text{s}$$

$$r_B = r_{\text{O}_2} = b \cdot (-r) = 3 \cdot (-0'23) \Rightarrow \boxed{-r_B = -r_{\text{O}_2} = 0'69 \text{ mol/L}\cdot\text{s}}$$

$$r_{\text{CO}_2} = c \cdot r = 2 \cdot 0'23 \rightarrow$$

$$\boxed{r_{\text{CO}_2} = 0'46 \text{ mol/L}\cdot\text{s}}$$

$$r_{\text{H}_2\text{O}} = d \cdot r = 2 \cdot 0'23 \rightarrow$$

$$\boxed{r_{\text{H}_2\text{O}} = 0'46 \text{ mol/L}\cdot\text{s}}$$

} SON POSITIVOS PORQUE SON PRODUCTOS.

2.



$$r = k \cdot C_A$$

$$k = 0'009 \text{ h}^{-1}$$

a) $C_A = 0'02 \text{ M}$

$$r = k \cdot C_A = 0'009 \cdot 0'02 \rightarrow$$

$$\boxed{r = 1'8 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}\cdot\text{h}}$$

b)

$$r_S = 2 \cdot r = 2 \cdot 1'8 \cdot 10^{-4} \rightarrow$$

$$\boxed{r_S = 3'6 \cdot 10^{-4} \text{ mol S/L}\cdot\text{h}}$$

3.



$$r = k \cdot C_{\text{NO}}^2 \cdot C_{\text{H}_2}$$

a) Concentración NO $\times 2$.

$$r' = k \cdot (2 \cdot C_{\text{NO}})^2 \cdot C_{\text{H}_2} = k \cdot 4 C_{\text{NO}}^2 \cdot C_{\text{H}_2} \rightarrow$$

$$\boxed{r' = 4r}$$

b) Concentración H₂ : 2

$$r'' = k \cdot C_{\text{NO}}^2 \cdot \frac{1}{2} C_{\text{H}_2} \rightarrow$$

$$\boxed{r'' = \frac{r}{2}}$$

c)

$$r = k \cdot C_{NO^2} \cdot C_{H_2}$$

$$\left(\frac{\text{mol}}{\text{L} \cdot \text{min}}\right) = k \left(\frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2 \left(\frac{\text{mol}}{\text{L}}\right) \Rightarrow k = \left(\frac{\text{mol}}{\text{L} \cdot \text{min}}\right) \cdot \left(\frac{\text{L}^2}{\text{mol}^2}\right) \cdot \left(\frac{\text{L}}{\text{mol}}\right)$$

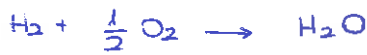
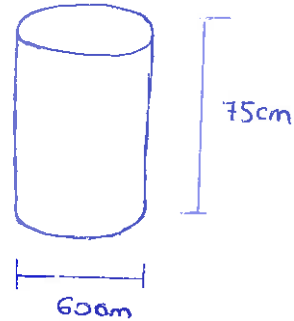
$$[k] = \left(\frac{\text{L}^2}{\text{mol}^2 \cdot \text{min}}\right)$$

4.

Mezcla estequiometrica { Hidrogeno liquido.
Oxigeno liquido.

$$\dot{m} = 108 \text{ kg/s}$$

Combustion complete.



$$\left\{ \begin{aligned} -r_A &= \frac{1}{a} \cdot \frac{1}{V} \cdot \frac{dN_A}{dt} \\ -r_B &= \frac{1}{b} \cdot \frac{1}{V} \cdot \frac{dN_B}{dt} \end{aligned} \right.$$

$$V = A \cdot L = \frac{\pi (0'6)^2}{4} \cdot 0'75 \rightarrow V = 0'212 \text{ m}^3$$

$$108 \text{ kg/s} \cdot \frac{1 \text{ kmol}}{18 \text{ kg H}_2\text{O}} = 6 \text{ kmol H}_2\text{O} \left\{ \begin{aligned} 1 \text{ mol H}_2\text{O} &\rightarrow 1 \text{ mol H}_2 \Rightarrow 6000 \text{ mol H}_2 \\ 1 \text{ mol H}_2\text{O} &\rightarrow 0'5 \text{ mol O}_2 \Rightarrow 3000 \text{ mol O}_2 \end{aligned} \right.$$

$$-r_{H_2} = \frac{1}{0'212} \cdot 6000 \Rightarrow -r_{H_2} = 2'83 \cdot 10^4 \text{ mol H}_2 / \text{m}^3 \cdot \text{s}$$

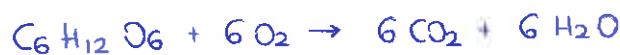
$$-r_{O_2} = \frac{1}{0'212} \cdot 3000 \Rightarrow -r_{O_2} = 1'41 \cdot 10^4 \text{ mol O}_2 / \text{m}^3 \cdot \text{s}$$

5.

$$E = 6000 \text{ KJ}$$

$$m = 75 \text{ kg}, \rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

GLUCOSA SOLA



$$\Delta H_R = -2316 \text{ KJ}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{75}{1000} \rightarrow V = 0'075 \text{ m}^3$$

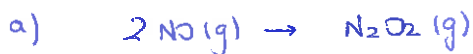
$$-r_{O_2} = \frac{1}{V} \cdot \frac{dN_{O_2}}{dt}$$

$$\frac{6000 \text{ KJ/día}}{2816 \text{ KJ/mol glucosa}} = 2'13 \frac{\text{mol glucosa}}{\text{día}} \cdot \frac{6 \text{ mol } O_2}{4 \text{ mol glucosa}} = 12'78 \frac{\text{mol } O_2}{\text{día}}$$

$$-r_{O_2} = \frac{1}{0'075} \cdot 12'78 \rightarrow -r_{O_2} = 170'45 \frac{\text{mol } O_2}{\text{m}^3 \text{ día}}$$

6.

REACCIONES ELEMENTALES $\Rightarrow -r_A = k(T) \cdot C_A^\alpha \cdot C_B^\beta \dots$ $\left\{ \begin{array}{l} \alpha = a \\ \beta = b \end{array} \right.$



$$r = k \cdot C_{\text{NO}}^2 \quad \text{bimolecular}$$



$$r = k \cdot C_{\text{Cl}_2} \quad \text{unimolecular}$$



$$r = k \cdot C_{\text{NO}_2}^2 \quad \text{bimolecular}$$

7.

Reaccion elemental 2º orden $\Rightarrow (A+B \rightarrow \text{productos})$

$$r = 4'5 \cdot 10^{-7} \text{ mol/cm}^3 \cdot \text{s} \quad \left\{ \begin{array}{l} C_A = 1'5 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L} \\ C_B = 2'5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} \end{array} \right. \quad k?$$

$$C_A = 1'5 \cdot 10^{-2} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} = 1'5 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{cm}^3}$$

$$C_B = 2'5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} = 2'5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{cm}^3}$$

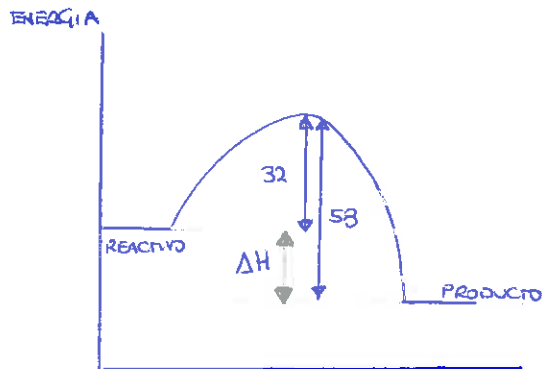
$$r = k C_A \cdot C_B \Rightarrow 4'5 \cdot 10^{-7} = k \cdot (1'5 \cdot 10^{-5}) \cdot (2'5 \cdot 10^{-6}) \rightarrow k = 1'2 \cdot 10^4 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol} \cdot \text{s}}$$

$$1'2 \cdot 10^4 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol} \cdot \text{s}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} \cdot \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \rightarrow k = 720 \frac{\text{L}}{\text{mol} \cdot \text{min}}$$

8.



$$\vec{E}_a = 32 \text{ KJ/mol} \quad ; \quad \overleftarrow{E}_a = 58 \text{ KJ/mol}$$



$$\Delta H = 32 - 58 = -26 \text{ KJ/mol}$$

$\Delta H < 0 \Rightarrow$ REACCION EXOTERMICA

TRANSCURSO
DE REACCION

9.

$$E_a = 9'32 \cdot 10^4 \text{ J/mol}$$

$$K(T) = A \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{R \cdot T}\right)$$

$$T = 27^\circ\text{C} \Rightarrow K(T) = 1'25 \cdot 10^{-2} \text{ L/mol}\cdot\text{s}$$

$$R = 8'314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$T = 127^\circ\text{C} \rightarrow K(T)?$$

$$\underline{T = 27^\circ\text{C} = 300 \text{ K}}$$

$$1'25 \cdot 10^{-2} = A \cdot \exp\left(-\frac{9'32 \cdot 10^4}{8'314 \cdot 300}\right) \Rightarrow \underline{A = 2'11 \cdot 10^{14} \text{ L/mol}\cdot\text{s}}$$

El factor de frecuencia se mantiene constante:

$$\underline{T = 127^\circ\text{C} = 400 \text{ K}}$$

$$K(T) = 2'11 \cdot 10^{14} \cdot \exp\left(-\frac{9'32 \cdot 10^4}{8'314 \cdot 400}\right)$$

$$\Rightarrow \underline{K(T) = 142'5 \text{ L/mol}\cdot\text{s}}$$

b)

$$K(T) = 2'5 \cdot 10^{-2} \text{ L/mol}\cdot\text{s}$$

$$2'5 \cdot 10^{-2} = 2'11 \cdot 10^{14} \cdot \exp\left(-\frac{9'32 \cdot 10^4}{8'314 \cdot T}\right)$$

$$\Rightarrow \underline{T = 305'67 \text{ K} = 32'67^\circ\text{C}}$$

10.

Reaccion elemental 1^{er} orden. \Rightarrow $r = k \cdot C_A$

$E_a = 15 \text{ KJ/mol}$; $T = 25^\circ\text{C}$; $R = 8'314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$.

CATALIZAR

$E_a = 7'5 \text{ KJ/mol}$

$K(T) = A \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$

a)

$r = k \cdot A$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{SIN CATALIZAR} \rightarrow r_1 = k \cdot C_A \rightarrow k = \frac{r_1}{C_A} \\ \text{CATALIZANDO} \rightarrow r_2 = k \cdot C_A \rightarrow k = \frac{r_2}{C_A} \end{array} \right.$

$\frac{r_1}{C_A} = A \cdot \exp\left(-\frac{15 \cdot 10^3}{8'314 \cdot 298}\right)$
 $\frac{r_2}{C_A} = A \cdot \exp\left(-\frac{7'5 \cdot 10^3}{8'314 \cdot 298}\right)$ \Rightarrow $\frac{r_1}{r_2} = \frac{\exp\left(-\frac{15 \cdot 10^3}{8'314 \cdot 298}\right)}{\exp\left(-\frac{7'5 \cdot 10^3}{8'314 \cdot 298}\right)}$

$\Rightarrow \frac{r_2}{r_1} = 20'6 \approx 21$

b)

$r_1 = r_2$

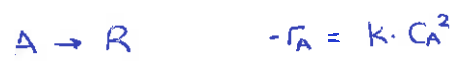
$C_A \cdot A \cdot \exp\left(-\frac{15 \cdot 10^3}{8'314 \cdot T}\right) = C_A \cdot A \cdot \exp\left(-\frac{7'5 \cdot 10^3}{8'314 \cdot 298}\right)$

$T = 596 \text{ K} = 323^\circ\text{C}$

c) La catalisis no afecta a la entalpia de reaccion. Lo unico que es variar la energia de activacion, alterando de esta manera la velocidad de la reaccion.

11.

$X = 0'5$ (Reactor continuo)



a) Se sustituye el reactor por otro 6 veces mayor.

REACTOR CONTINUO $\Rightarrow V = \frac{F_{A0} \cdot X}{-r_A}$

$$V = \frac{F_{A0} \cdot X}{-r_A} = \frac{F_{A0} \cdot 0.5}{K \cdot C_A^2} = \frac{F_{A0} \cdot 0.5}{K [C_{A0} (1-0.5)]^2} \quad \left. \vphantom{V} \right\} \Rightarrow$$

$$GV = \frac{F_{A0} \cdot X_A}{-r_A} = \frac{F_{A0} \cdot X_A}{K \cdot C_A^2} = \frac{F_{A0} \cdot X_A}{K [C_{A0} (1-X_A)]^2}$$

$$\Rightarrow \frac{F_{A0} \cdot 0.5}{K \cdot C_{A0}^2 \cdot 0.25} = \frac{1}{6} \cdot \frac{F_{A0} \cdot X_A}{K \cdot C_{A0}^2 \cdot (1-X_A)^2} \Rightarrow 12 = \frac{X_A}{(1-X_A)^2} \Rightarrow$$

$$12 (1-X_A)^2 = X_A \rightarrow 12 (1 - 2X_A + X_A^2) = X_A \Rightarrow 12X_A^2 - 25X_A + 12 = 0$$

$$12X_A^2 - 25X_A + 12 = 0 \rightarrow \begin{cases} X_A = 4/3 & \text{(No puede ser > 1)} \\ X_A = 0.75 \end{cases}$$

b)

REACTOR FLUJO PISTON $\Rightarrow -r_A = F_{A0} \frac{dX_A}{dV}$; $V = \frac{F_{A0} \cdot X}{-r_A}$

$$dV = F_{A0} \cdot \frac{dX_A}{-r_A} = F_{A0} \cdot \frac{dX_A}{K \cdot C_A^2} = F_{A0} \cdot \frac{dX_A}{K [C_{A0} (1-X_A)]^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \int_0^V dV = \frac{F_{A0}}{K \cdot C_{A0}^2} \int_0^{X_A} \frac{1}{(1-X_A)^2} \cdot dX_A \Rightarrow V = \frac{F_{A0}}{K \cdot C_{A0}^2} \cdot \left(\frac{1}{1-X_A} \right)_0^{X_A}$$

Como son del mismo tamaño, igualamos volúmenes:

$$\frac{F_{A0} \cdot 0.5}{K \cdot C_{A0}^2 \cdot 0.25} = \frac{F_{A0}}{K \cdot C_{A0}^2} \cdot \left(-1 + \frac{1}{1-X_A} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2 = -1 + \frac{1}{1-X_A} \Rightarrow 3(1-X_A) = 1 \rightarrow X_A = \frac{2}{3} = 0.67$$

12.

Reaccion de primer orden : $A \rightarrow B$ (Reactor discontinuo isotermino)

$$\left\{ \begin{array}{l} 5890.5 \text{ mol B/dia} \\ X_A = 0.99 \text{ (99\%)} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \text{OPERACION DE CARGA} \rightarrow t = 0.38 \text{ h} \\ \text{TIEMPO DE REACCION} \rightarrow t \\ \text{OPERACION DE DESARCA} \rightarrow t = 0.19 \text{ h} \end{array} \right.$$

$$K = 0.015 \text{ min}^{-1} ; C_{A0} = 3.5 \text{ mol/L} ; t_{\text{max}} = 13 \text{ h.}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{REACTOR DISCONTINUO} \Rightarrow -r_A = C_{A0} \cdot \frac{dx_A}{dt} \\ \text{REACCION DE 1º ORDEN} \Rightarrow -r_A = k \cdot C_A = k \cdot (C_{A0} (1-x_A)) \end{array} \right.$$

$$k \cdot C_{A0} (1-x_A) = C_{A0} \cdot \frac{dx_A}{dt} \Rightarrow \int_0^t dt = \int_0^x \frac{1}{k(1-x_A)} dx_A \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t = \frac{1}{k} \cdot \ln(1-x_A) \Big|_{0.99}^0 \Rightarrow t = \underline{\underline{307.011 \text{ min} = 5.12 \text{ h}}}$$

TIEMPO DE REACCIÓN.

$$\text{TIEMPO TOTAL 4 LOTE} \rightarrow t = 0.38 + 5.12 + 0.9 \rightarrow \underline{\underline{t = 6.4 \text{ h}}}$$

$$\text{LOTES AL DIA} = \frac{13}{6.4} \approx \underline{\underline{2 \text{ LOTES/dia}}}$$

$$\frac{5890.5 \text{ mol B}}{2 \text{ LOTES}} = 2945.25 \text{ mol B/LOTE.}$$

$$\text{mol A/LOTE} = \frac{2945.25}{0.99} \rightarrow \underline{\underline{N_A = 2975 \text{ mol A/LOTE}}}$$

$$V = \frac{N_A}{C_{A0}} = \frac{2975 \text{ mol A}}{8.5 \frac{\text{mol A}}{\text{L}}} \rightarrow \boxed{V = 350 \text{ L}}$$

13.



$$V = \frac{F_{A0} \cdot x_A}{-r_A}$$

$$-r_A = k \cdot C_A C_B \quad k = 0.2 \frac{\text{L}}{\text{mol} \cdot \text{min}}$$

$$Q = 10 \text{ L/min} \quad ; \quad C_{A0} = 2 \text{ mol/L} \quad ; \quad C_{B0} = 2 \text{ mol/L}$$

a) $F^c = 900 \text{ mol/h}$

$$F_{A0} = 2 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 10 \cdot \frac{\text{L}}{\text{min}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{\text{h}} \rightarrow \underline{\underline{F_{A0} = 1200 \text{ mol/h}}}$$

$$\text{ESTEQUIOMETRÍA UNO A UNO} \Rightarrow 900 \text{ mol/h} \Rightarrow 900 \text{ mol A/h}$$

$$F_A = 1200 - 900 \rightarrow \underline{\underline{F_A = 300 \text{ mol/h}}}$$

$$X_A = \frac{F_{A0} - F_A}{F_{A0}} = \frac{1200 - 300}{1200} \rightarrow X_A = 0.75$$

$$V = \frac{F_{A0} \cdot X_A}{-r_A} = \frac{F_{A0} \cdot X_A}{k \cdot C_A \cdot C_B} = \frac{1200 \cdot 0.75}{12 \cdot 0.15 \cdot 0.15} \rightarrow \boxed{V = 300 \text{ L}}$$

$$C_A = C_{A0} (1 - X_A) = 2 (1 - 0.75) \rightarrow C_A = 0.15 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$C_B = C_{B0} (1 - X_A) = 2 (1 - 0.75) \rightarrow C_B = 0.15 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$k = 0.2 \frac{\text{L}}{\text{mol} \cdot \text{min}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \rightarrow k = 12 \frac{\text{L}}{\text{mol} \cdot \text{h}}$$

b)

$$K_D = 30$$

Recuperar 90% F^C

Si queremos el 90% que tiene C solamente saldra: $F^{C'} = \frac{10}{100} \cdot 900$

$$K_D = \frac{[C]_{\text{PROD.}}}{[C]_{\text{DISOLV}}} = \frac{\frac{900 \cdot \frac{90}{100}}{Q_C}}{\frac{90}{600}} = 30 \rightarrow \boxed{Q = 180 \text{ L/h}}$$

$$F^{C'} = 90 \text{ mol/h}$$

$$Q = 10 \frac{\text{L}}{\text{min}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \rightarrow Q_A = 600 \text{ L/h}$$

14.

Reaccion 1^{er} orden: $A \rightarrow B$

$$-r_A = k \cdot C_A$$

$$Q \equiv \text{cte} = 10 \text{ L/min}$$

$$k = 0.23 \text{ min}^{-1}$$

$$C_A = 10\% \cdot C_{A0}$$

$$-r_A = F_{A0} \frac{dX_A}{dV} \rightarrow dV = \frac{F_{A0}}{k \cdot C_A} dX_A \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \int_0^V dV = - \frac{F_{A0}}{k} \int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{1}{C_A} dC_A \Rightarrow V = \frac{10}{0.23} \cdot \ln \left| \frac{C_{A0}}{C_A} \right| =$$

$$= \frac{10}{0.23} \cdot \ln \left(\frac{C_{A0}}{0.1 C_{A0}} \right) \rightarrow \boxed{V = 100.41 \text{ L}}$$

15.

$$T = 15^{\circ}\text{C} \Rightarrow K(T) = 1'38 \cdot 10^{-3} \text{ min}^{-1}$$

$$A = 50 \text{ m}^2 \Rightarrow \text{REACTOR FLUJO PISTON} \Rightarrow -r_A = \bar{F}_{A0} \cdot \frac{dx_A}{dV}$$

$$\text{melaza} \begin{cases} \dot{m} = 0'6 \text{ kg/min} \\ \rho = 1'3 \text{ kg/m}^3 \end{cases}$$

Se desea obtener $x_A = 0'9$

$$\text{Reaccion de primer orden} \Rightarrow -r_A = K \cdot C_A$$

$$-r_A = \bar{F}_{A0} \cdot \frac{dx_A}{dV} \Rightarrow K \cdot C_A = (C_{A0} \cdot Q) \cdot \frac{dx_A}{dV} \Rightarrow dV = \frac{C_{A0} \cdot Q}{K \cdot C_{A0} \cdot (1-x_A)} dx_A$$

$$\Rightarrow \int_0^V dV = \frac{Q}{K} \int_0^{0'9} \frac{1}{(1-x_A)} dx_A \Rightarrow V = \frac{0'462}{1'38 \cdot 10^{-3}} \cdot \ln \left(\frac{1}{1-0'9} \right) \Rightarrow$$

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{0'6}{1'3} \rightarrow Q = 0'462 \text{ m}^3/\text{min} \Rightarrow \underline{\underline{V = 770'095 \text{ m}^3}}$$

$$V = A \cdot L \rightarrow L = \frac{V}{A} = \frac{770'095}{50} \Rightarrow \boxed{L = 15'4 \text{ m}}$$

En el caso de que no nos den caudales de entrada ni salida (Grado Liber = 1)

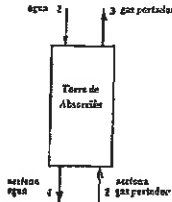
BASE DE CALCULO 1000 kg/h

TEMA 3. BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA
EJERCICIOS

$$\text{mol} \left\{ \begin{array}{l} N \\ X \end{array} \right. \quad \text{kg} \left\{ \begin{array}{l} F \\ W \end{array} \right.$$

BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA

1) Se quiere eliminar acetona de una corriente gaseosa de 200 moles/h, en la cual se encuentra en una concentración del 20% en volumen. La eliminación total se realiza en una torre de absorción en la hay un aporte de 1000 moles/h de agua. Se pide calcular los caudales de salida, así como la concentración de acetona en la corriente acuosa.



Resp. : corr. gas: 160 moles/h; corr. acuosa: 1040 moles/h; 3,85%

2) Se debe producir 4000 kg h^{-1} de un producto de TiO_2 seco, para lo cual hay que depurar una corriente intermedia, que es una suspensión de TiO_2 en una solución salina (40% TiO_2 , 20% sal; % en peso). Se lava con agua, de tal forma que el producto final no alcance las 100 ppm de sal en base seca. Se espera que la concentración de TiO_2 en el producto sea de un 50% en peso. Se considera al TiO_2 insoluble en agua. Estudiar las posibilidades del proceso.

3) Una disolución acuosa de NaOH tiene un 20% en masa de NaOH. Se desea producir una disolución al 8% de NaOH, diluyendo el caudal anterior con un caudal de agua. Calcular los cocientes:

1.- masa agua/masa disolución NaOH alimentación.

2- masa disolución NaOH producto/masa disolución NaOH alimentación.

Calcular los caudales de alimentación de la disolución al 20%, y el agua si queremos producir 3000 Kg/h de la disolución al 8%.

Resp.: 1,5, 2,5, 1200 kg/h, 1800 kg/h

4) Considérese un divisor que separa una corriente que contiene malta, lúpulo y agua en tres corrientes. Se sabe que la corriente de entrada posee un caudal de 1000 kg h^{-1} y una composición de un 20% en peso de malta, un 10% en peso de lúpulo y el resto agua. Además se regulan las corrientes de salida de tal manera que los caudales máxicos están relacionados por:

$$F^2 = 2 F^3 \text{ y } F^3 = (1/3) F^4$$

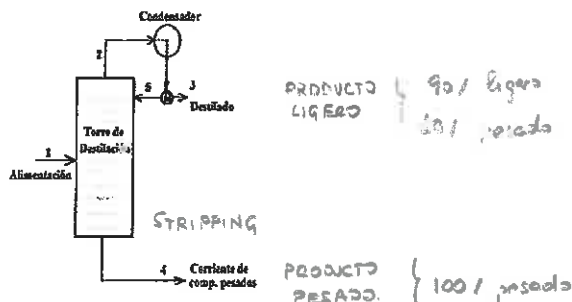
Calcular los caudales por cada una de las ramas.

Resp.: $F^3 = 166,7$, $F^2 = 333,3$ y $F^4 = 500 \text{ kg h}^{-1}$

5. Las columnas de destilación son equipos que separan compuestos basándose a la diferente volatilidad de los mismos. Con el fin de asegurar la separación, se requiere que parte del vapor que sale por cabeza sea condensado y retorne a la columna. Para el cálculo del balance de masa podemos ignorar el condensador total ya que lo único que produce es un cambio de fase en la corriente, sin afectar a la masa o a la composición.

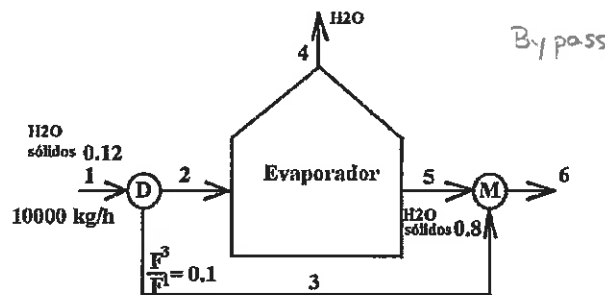
La columna se utiliza para separar una mezcla de tres componentes formada por un 7% de acetona, el 61.9% de ácido acético y el resto anhídrido acético. La columna se diseña para que eliminemos la acetona de la corriente de pesados, y que el destilado tenga un 10% de acetona y un 88% de ácido acético. Si la columna está funcionando de tal manera que el 60% del destilado es devuelto a la columna (reciclo), calcular todos los caudales de las corrientes existentes, suponiendo que los % dados son molares y que se quiere producir 700 moles h^{-1} de destilado.

Cuanto mas alta la torre mejor eficacia de destilacion



Resp.: N^1 : 300 mol h^{-1} , x_{AcH}^4 : 0.01

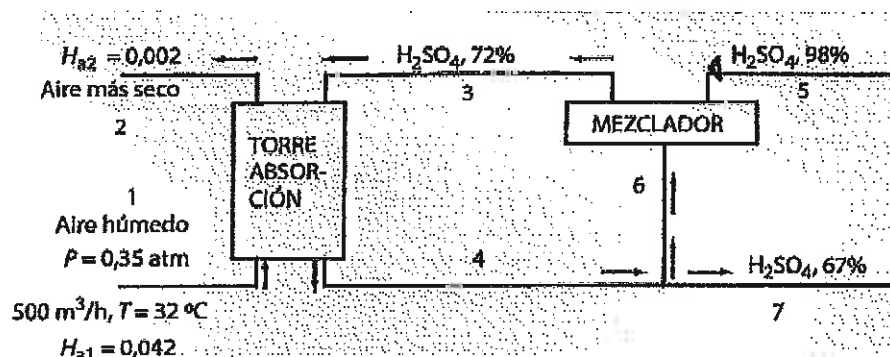
6. El jugo de naranja consiste en un 12% en masa de sólidos disueltos, principalmente azúcares, en agua. Con el fin de reducir el costo de transporte, el jugo es concentrado antes, para restituirlo en destino añadiéndole agua. La concentración debe ser llevada en evaporadores especiales, de corto tiempo de residencia, para reducir la pérdida de sabores y aromas muy volátiles (presentes en cantidades traza). Ya que la pérdida de estos componentes es inevitable, se suele recurrir a añadir una pequeña cantidad de jugo fresco al concentrado para mejorar su aroma y sabor. Supóngase que el 10% de la alimentación se utiliza de esta manera, y de que el evaporador trabaja de manera que en salida existe un 80% de sólidos disueltos. Si el caudal de alimentación es de 10000 $kg h^{-1}$ de jugo fresco, calcular el caudal de agua evaporada y la composición del producto final.



Resp.: F^4 : 7650 $kg h^{-1}$, w_{sol}^6 : 0.51

$$H_a = 0,042 \begin{cases} \text{H}_2\text{O} & 0,042 \\ \text{Aire húmedo} & 1 \end{cases} \rightarrow \begin{aligned} X_{\text{H}_2\text{O}} &= \frac{0,042}{1,042} \\ X_{\text{AIR}} &= \frac{1}{1,042} \end{aligned}$$

7. 500 m³/h de aire húmedo (H_a = 0,042 mol agua/mol aire seco) se alimentan en una torre de absorción con el objetivo de eliminar el agua, de acuerdo con el esquema adjunto. Calcular: a). Los kg/h de H₂SO₄ del 98% necesarios. b) Los kg/h de H₂SO₄ del 72% alimentados en la torre de absorción. NOTA. Todos los porcentajes son en peso.



$$PM_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \text{ g/mol}$$

$$PM_{\text{AIR}} = 28,94 \text{ g/mol}$$

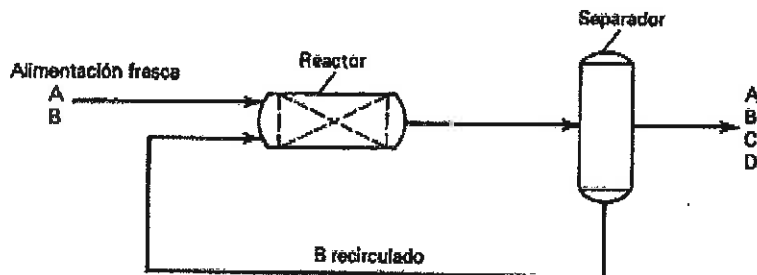
Resp.: $\dot{V}_5 = 10.5 \text{ kg/h}$; $\dot{V}_3 = 64.8 \text{ kg/h}$

8. Se considera un sistema formado por un reactor y un separador alimentado por la corriente de salida del reactor. Se produce una única reacción, que se puede representar por la siguiente estequiometría:



Una corriente de salida del separador, compuesta exclusivamente por B, se recicla y mezcla con la alimentación al sistema antes de entrar al reactor. Se pide determinar la relación de recirculación (moles de recirculación/moles de entrada al separador) bajo las siguientes especificaciones:

- Se alimenta al sistema con un 20% de exceso de A.
- La conversión por paso de B es de un 60%.
- La conversión global de B es de un 90%.

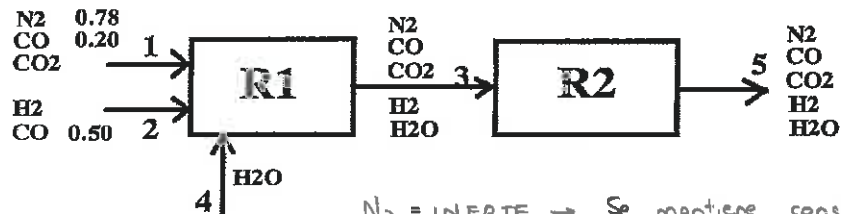


Resp.: 21 %

Reaccion de reformado: al vapor



9.) Se tienen dos reactores catalíticos en serie en los que se produce la reacción de reformado con vapor:



$\text{N}_2 = \text{INERTE} \rightarrow$ Se mantiene constante su valor todo el rato.

La mezcla entre las dos corrientes de entrada al primer reactor se ajusta para mantener una relación 3:1 entre el H_2 y el N_2 en la corriente producto.

Si en la primera etapa la conversión de CO es 0.8 y suponiendo que en el sistema total la conversión de CO es 1, se pide calcular la composición de la corriente entre los dos reactores.

Dato: el caudal de vapor de agua está ajustado al doble del caudal de gas seco de entrada.

Resp.: $\text{CO}_2: 0.110, \text{H}_2: 0.221, \text{H}_2\text{O}: 0.559, \text{N}_2: 0.083, \text{CO}: 0.027$

10.) Hallar la temperatura teórica de llama al quemar metano en condiciones adiabáticas con la cantidad estequiométrica de aire. Los reactivos se alimentan a 25 °C y se supone que sólo reacciona el 80% del metano. Suponer una composición volumétrica del aire de 80% N_2 y 20% O_2 .

DATOS: los C_p (cal/ K mol) vienen dados por las expresiones: $C_p(\text{CH}_4) = 7.5 + 0.0050 T$; $C_p(\text{O}_2) = 6.5 + 0.0010 T$; $C_p(\text{H}_2\text{O}) = 8.15 + 0.0010 T$; $C_p(\text{N}_2) = 6.5 + 0.0010 T$; $C_p(\text{CO}_2) = 7.70 + 0.0053 T$. $\Delta H^\circ_{\text{comb}}(\text{CH}_4) = -165.2 \text{ kcal/mol CH}_4$ (para dar $\text{H}_2\text{O} (v)$).

Resp.: 1752 K

11.) Calcular la temperatura teórica de llama de un gas que contiene 20% de CO y 80% N_2 cuando se quema con un exceso de aire del 100%, a) estando ambos reactivos, aire y gas inicialmente a 25 °C y b) cuando se calientan el gas y el aire a 1000 °C antes de la combustión.

DATOS (cal/K mol): $C_p(\text{CO}_2) = 6.34 + 0.01 T$; $C_p(\text{O}_2) = 6.12 + 0.003T$;

$C_p(\text{N}_2) = 6.46 + 0.0014 T$; $C_p(\text{CO}) = 7.587$; $\Delta H^\circ_{\text{comb}}(\text{CO}) = - 67.636 \text{ kcal/mol}$

Resp.: a) 913 °C b) 1683 °C.

??
??

DULONG (Kcal/kg carbon)

$$PCS = 81\% C + 344 \left(\% H - \frac{\% O}{8} \right) + 25\% S$$

TEMA 3. BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA
EJERCICIOS

$$PCI = 81\% C + 290 \left(\% H - \frac{\% O}{8} \right) + 25\% S - 8\% H$$

12. Una muestra de carbón con el siguiente análisis: 84% C; 4% H; 0.5% S; 2.4% N; 4% O; 2% humedad; 3% cenizas no combustibles, se emplea como combustible en una caldera de producción de vapor. Calcular: a) poder calorífico superior e inferior. b) Volumen mínimo de aire (C.N.) y peso del mismo para quemar completamente 1 tonelada de carbón. c) Calcular la composición en volumen y en peso de los productos gaseosos secos obtenidos en la combustión si se utiliza un 50% de exceso de aire sobre la cantidad estequiométrica precisa.

DATOS: Comp. Vol. del aire: 21% O₂; 1% Ar; 78% N₂; ΔH^ovap H₂O = 600 kcal/kg

Resp.: a) PCS = 8020.5 kcal/kg. PCI = 7819.5 kcal/kg b) 8417 m³ aire. 10897 kg aire. c) % en vol CO₂ 12.52%; O₂ 7.02%; SO₂ 0.03%; N₂ 79.41%; Ar 0.92 %

13. Un carbón bituminoso responde a los siguientes análisis: 78% C; 5% H; 8% O; 8% ceniza; 1% humedad. Dicho carbón se gasifica sin empleo de vapor y se obtiene un gas de la siguiente composición: 35% CO; 5% CO₂; 5% CH₄; 5% H₂, 50% N₂. Determinar el rendimiento de la gasificación.

DATOS: ΔH^ocomb (kcal/mol): CO = - 67.64; CH₄ = - 212.8; H₂ = - 68.32 (para dar H₂O(l))

Resp.: 69.88 % $\left(\frac{\text{Kcal/mol} \cdot \text{gas}}{\text{mol} \cdot \text{gas/kg Carbon}} \right) \left(\frac{\text{Kcal/kg carbon}}{\text{Kcal/kg carbon}} \right)^{-1} = \text{Rendim. auto gasificación}$

14. Se queman 100 moles/hora de un gas combustible cuya composición en volumen es: 20% CO; 7% H₂; 2% CH₂; 5% CO₂ y 66% N₂. En la combustión se emplea aire seco con un 25% en exceso respecto al estequiométrico. La composición volumétrica de los gases secos de salida es: 80.15% N₂; 5.94% CO; 8.64% CO₂ y 5.31% O₂. Calcular: a) la composición de todos los flujos de entrada y salida, en moles, dibujando para ello el correspondiente diagrama de flujo. b) El porcentaje de metano que se transforman en CO₂ y el que se transforma en CO. c) Los poderes caloríficos superior e inferior del combustible. (Suponer que la combustión del CO contenido en el gas de entrada sólo se completa en un 50%).

DATOS: Composición volumétrica del aire seco: 79% N₂, 21% O₂

ΔH^of (kcal/mol): H₂O(l) = - 68.32; H₂O(g) = - 57.79; CO(g) = - 26.4; CO₂ = - 94.05; CH₂ (g) = - 17.89.

Resp.: a) Entran 104.16 moles aire/h. Salen 185.02 moles humos secos/h y 11 moles H₂O/h. b) 50% en CO y 50% en CO₂. c) PCS = 2257 kcal; PCI = 2141 kcal.

Gas 1 m³
 PCS > PCI
 Por unidad de combustible
 Base 100 mol → Mayor energía que se puede obtener del gas combustible [producto H₂O(l)].

Para calcular PCI.
 PV = nRT
 100 mol — m³
 n moles — 1 m³
 % PORCENTAJES EN PRES.

15. Se alimenta metanol a 675°C y 1 bar (corriente 1) a un reactor adiabático en donde el 25% del metanol se deshidrogena a formaldehído, según la siguiente reacción:



Calcular la temperatura de los gases en salida (corriente 2) del reactor suponiendo que pueden utilizarse los siguientes valores medios de los calores específicos a presión constante :

C _p de compuestos en fase gas (cal mol ⁻¹ °C ⁻¹)	
CH ₃ OH	17.0
HCHO	12.0
H ₂	7.0

Datos: entalpías de formación estándar a 298 K: metanol (g): -48.08 kcal mol⁻¹ ; formaldehído (g): -27.70 kcal mol⁻¹

Resp.: 365°C

16. Se produce NO por oxidación parcial del amoníaco con aire. La temperatura de alimentación del NH₃ (corriente 1) es de 25°C y se pone en contacto con aire precalentado a 750°C y 1 bar (corriente 2), lográndose una conversión del 90% en NH₃. Si la temperatura de la corriente de producto (corriente 3) no puede ser superior a 920°C, calcular el calor que es necesario evacuar por unidad de tiempo y mol de NH₃ alimentado, suponiendo que la relación de alimentación es de 2.4 moles de O₂ por mol de NH₃.

Datos: C_p de los gases en tablas (en función de la T).

$$\Delta H_R^{298} \text{ con H}_2\text{O(l)} = -279.33 \text{ kcal mol}^{-1}, \Delta H_{VL}^{298}(\text{H}_2\text{O}) = -10.52 \text{ kcal mol}^{-1}$$

Resp.: 22.53 kcal h⁻¹ por cada mol de NH₃ alimentado.

17. El calor estándar de reacción a 25°C y 1 atmósfera es -904.6 kJ mol⁻¹, para la oxidación de amoníaco:



Un reactor se alimenta con 100 moles de NH₃ h⁻¹ y 200 moles de O₂ h⁻¹ a 25°C, en donde el amoníaco se consume completamente. El flujo de productos sale como un gas a 300 °C. Calcular el calor transferido hacia / desde el reactor, suponiendo que la operación se efectúa aproximadamente a 1 atmósfera.

Datos: utilizar los siguientes valores de C_p promedio para los gases: O₂: 7.1 cal mol⁻¹ °C⁻¹, NO: 7.1 cal mol⁻¹ °C⁻¹ y 8.2 cal mol⁻¹ °C⁻¹. 1 J = 0.2388 cal.

Resp.: Se deben transferir 19700 kJ h⁻¹ desde el reactor.

18.) La alimentación entra a 300°C en un reactor donde se produce la reacción de deshidrogenación de etanol:



La alimentación contiene un 90% molar de etanol y el resto de acetaldehído.

Para evitar que disminuya la temperatura rápidamente, y se produzca una baja conversión en la reacción, se añade calor al reactor. Se observa que cuando la velocidad de adición de calor es 1627 kJ por cada 100 moles de alimentación de gas al reactor, la temperatura de salida es de 253°C.

Calcular la conversión de etanol alcanzada en el reactor, utilizando los siguientes datos de capacidades caloríficas constantes con la temperatura:

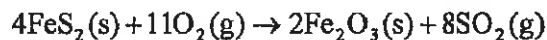
$$C_p \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g}) = 0.110 \text{ kJ mol}^{-1}\text{C}^{-1},$$

$$C_p \text{ CH}_3\text{CHO}(\text{g}) = 0.080 \text{ kJ mol}^{-1}\text{C}^{-1}$$

$$C_p \text{ H}_2(\text{g}) = 0.029 \text{ kJ mol}^{-1}\text{C}^{-1}.$$

Resp.: 34.4%

19.) Un mineral de pirita de hierro de composición: . FeS₂ : 85.0 % peso, y ganga (inerte) el resto; se calcina en un horno con una cantidad de aire igual al 200% en exceso de aire, con el fin de producir SO₂, de acuerdo con la siguiente reacción:



Toda la ganga, el Fe₂O₃ producido en la reacción, y el FeS₂ no reaccionado, forman una escoria sólida residual, cuyo análisis da un 4% en peso de FeS₂ (en dicha escoria formada).

Se pide calcular la entalpía de reacción estándar por cada kilogramo de mineral.

Datos: Pesos atómicos: Fe(56), S(32), O(16).

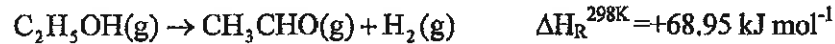
Aire: 79% en volumen de N₂ y 21% en volumen de O₂.

Entalpías de formación estándar (kcal mol⁻¹):

FeS ₂ (s)	O ₂ (g)	Fe ₂ O ₃ (s)	SO ₂ (g)
-42.52	0	-196.50	-70.96

Resp.: -1352.1 kcal kg⁻¹ de mineral

20. Se lleva a cabo la deshidrogenación de etanol para formar acetaldehído:



en un reactor adiabático. La alimentación (100% vapor de etanol) entra a 300°C y se produce una conversión de 30%.

Calcular la temperatura del producto, utilizando las capacidades específicas del anterior problema (18).

Resp.: 112 °C.

21. Un gas combustible está compuesto por un 90% de CH₄ y el resto es N₂. Se quema con un 20% de exceso de aire en un sistema continuo de calefacción de agua. El combustible (corriente 1) y el aire (corriente 2) entran a temperatura ambiente, cuyo valor medio se adopta como 25°C.

El caudal de agua a calentar (corrientes de entrada y salida de agua 3 y 4) es de 450 kg s⁻¹, la presión es una atmósfera, y las temperaturas de entrada y salida respectivamente 15°C y 80°C. Los gases de combustión salen del sistema a 205°C (corriente 5). Si la selectividad de la combustión completa es del 55%, determinar el consumo de combustible. Se puede suponer que las pérdidas de calor a través del aislante son despreciables.

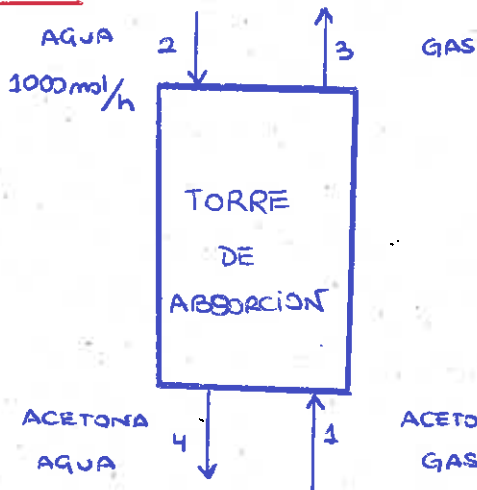
Datos: entalpía de vaporización del agua a 298 K: 10.52 kcal mol⁻¹, y las entalpías de formación estándar a 298 K y los calores específicos medios a presión constante son:

	ΔH_f^{298} de compuestos en fase gas (kcal mol ⁻¹)	C_p de compuestos en fase gas (cal mol ⁻¹ °C ⁻¹)
CH ₄	-17.89	10.0
N ₂	-	7.0
O ₂	-	7.0
CO	-26.42	7.5
CO ₂	-94.05	11.7
H ₂ O	-57.8	8.2
		C_p de compuestos en fase líquida (cal mol ⁻¹ °C ⁻¹)
H ₂ O		18.0

Resp.: si la conversión fuera del 100%, N¹: 225.22 mol s⁻¹

TEMA 3: BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA

EJERCICIO 1



GAS \equiv G
ACETONA \equiv A
AGUA \equiv H

$$N_1 = 200 \text{ mol/h}$$

Composición $\rightarrow X_A^1 = 20\%$

$$N_2 = 1000 \text{ mol/h}$$

$$\text{ACETONA (20\%)} = 40 \text{ mol/h}$$

$$\text{GAS (80\%)} = 160 \text{ mol/h}$$

$$200 \text{ mol/h}$$

ANÁLISIS DE GRADOS DE LIBERTAD

	VARIABLES	DATOS
CAUDAL	4	2
COMPOSIC.	2	1
EC. BALAN.		3
	6	6

ECUACIONES

$$N_1 + N_2 = N_3 + N_4 \rightarrow 200 + 1000 = 160 + N_4 \rightarrow N_4 = 1040 \text{ mol/h}$$

$$N_3 = X_3^G \cdot N_1 = \frac{80}{100} \cdot 200 \rightarrow N_3 = 160 \text{ mol/h}$$

$$N_4 = N_A^4 + N_H^4$$

$$X_A^1 \cdot N_1 = X_A^4 \cdot N_4 \rightarrow \frac{20}{100} \cdot 200 = X_A^4 \cdot 1040 \rightarrow X_A^4 = 0.0385 = 3.85\%$$

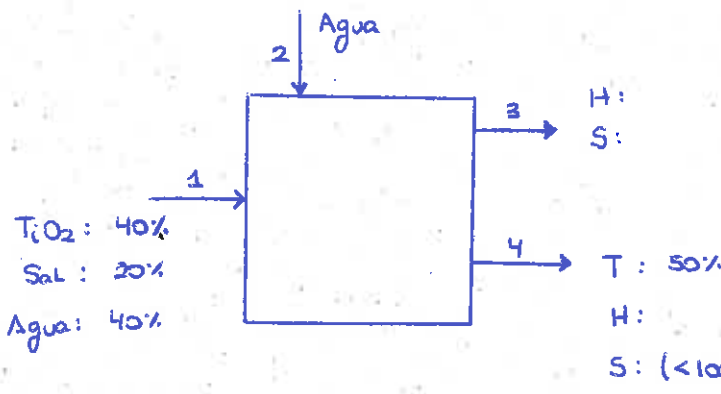
$$N_2 = X_H^4 \cdot N_4 \rightarrow 1000 = X_H^4 \cdot 1040 \rightarrow X_H^4 = 0.9615 = 96.15\%$$

EJERCICIO 2

TiO₂ ≡ T

AGUA ≡ H

SAL ≡ S



$$F^4 = F_{SECO}^4 + F_{H_2O}^4$$

$$W_T^4 = 50\%$$

$$W_S^4 = 20\%$$

$$W_H^4 = 40\%$$

$$F_{SECO}^4 = 4000 \text{ Kg/h}$$

< 100ppm: (partes por millon)

$$\frac{F_S^4}{F_{SECO}^4} = \frac{W_S^4 \cdot F^4}{(W_S^4 \cdot F^4 + W_T^4 \cdot F^4)} = \frac{100}{10^6} \rightarrow 10^6 \cdot W_S^4 = 400W_S^4 + 100 \cdot \frac{50}{100} \rightarrow \underline{W_S^4 = 5 \cdot 10^{-5}}$$

$$F_{SECO}^4 = W_S^4 \cdot F^4 + W_T^4 \cdot F^4 \rightarrow 4000 = \frac{50}{100} \cdot F^4 + 5 \cdot 10^{-5} \cdot F^4 \rightarrow \underline{F^4 = 7999'2 \text{ Kg/h}}$$

ANALISIS GRADOS DE LIBERTAD.

	VARIABLES	DATOS
CAUDAL	4	1
COMPOSIC.	5	4
EC. BALAN.		3
	9	8

Podemos suponer una relacion entre los caudales de entrada al depurador.

$$\frac{F^2}{F^1} = 6$$

• Otra suposicion podria ser limitar la salida de sales y aguas residuales, impuestos por las normas de medio ambiente. (SALIDA 3).

ECUACIONES POR ELEMENTOS:

T) $W_T^1 \cdot F^1 = W_T^4 \cdot F^4 \rightarrow \frac{40}{100} F^1 = \frac{50}{100} 7999'2 \rightarrow \underline{F^1 = 9999 \text{ Kg/h}}$

S) $W_S^1 \cdot F^1 = W_S^3 \cdot F^3 + W_S^4 \cdot F^4 \rightarrow \frac{20}{100} \cdot 9999 = W_S^3 \cdot 61993'8 + 5 \cdot 10^{-5} \cdot 7999'2 \Rightarrow \underline{W_S^3 = 0'0323(3'23\%)}$

H) $W_H^1 \cdot F^1 + F^2 = W_H^3 \cdot F^3 + W_H^4 \cdot F^4 \rightarrow \frac{40}{100} \cdot 9999 + 59994 = W_H^3 \cdot 61993'8 + W_H^4 \cdot 7999'2$

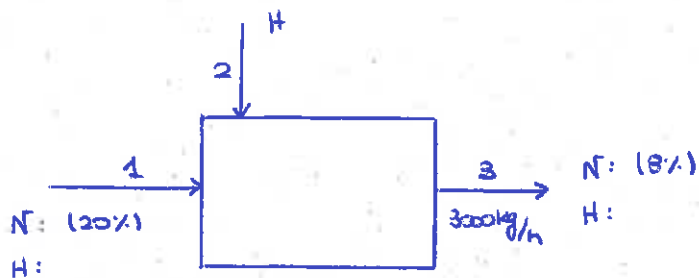
GLOBAL) $F^1 + F^2 = F^3 + F^4 \rightarrow \underline{F^3 = 61993'8 \text{ Kg/h}}$

SUPONENOS) $F^2 = 6F^1 \rightarrow \underline{F^2 = 59994 \text{ Kg/h}}$

$W_H^3 = 1 - W_S^3 \rightarrow \underline{W_H^3 = 0'9677 = 96'77\%}$

EJERCICIO 3

NaOH \equiv N
Agua \equiv H



$$W_N^1 = 20\%$$

$$W_N^3 = 18\%$$

$$N^3 = 3000 \text{ kg/h}$$

ANALISIS GRADOS LIBERTAD

	VARIABLES	DATOS
CAUDAL	3	1
COMP. SIC.	2	2
EC. BALAN.		2
	5	5

ECUACIONES

$$N) W_N^1 \cdot F^1 = W_N^3 \cdot F^3 \rightarrow \frac{20}{100} \cdot F^1 = \frac{18}{100} \cdot 3000 \rightarrow F^1 = 1200 \text{ kg/h}$$

$$H) W_H^1 \cdot F^1 + F^2 = W_H^3 \cdot F^3$$

$$\text{GLOBAL) } F_1 + F_2 = F_3 \rightarrow 1200 + F_2 = 3000 \rightarrow F_2 = 1800 \text{ kg/h}$$

a)

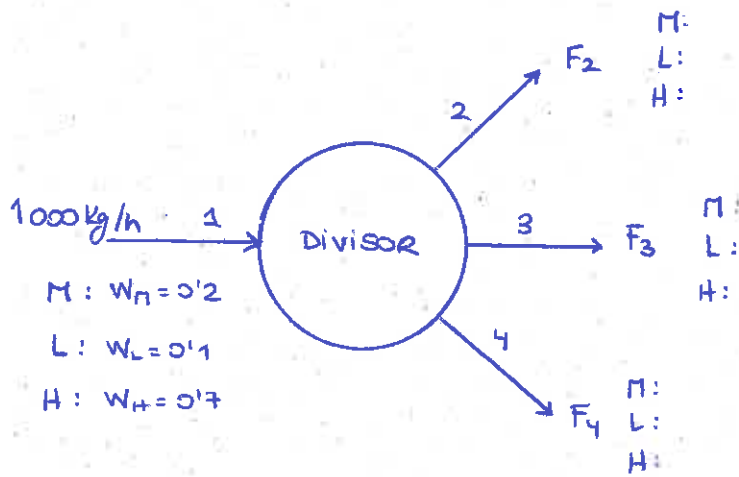
$$\frac{M_{H_2O}}{M_{\text{Dis. NaOH alim.}}} = \frac{1800}{1200} \rightarrow \frac{m_2}{m_1} = 1'5$$

b)

$$\frac{M_{\text{Dis NaOH prod.}}}{M_{\text{Dis NaOH alim.}}} = \frac{3000}{1200} \rightarrow \frac{m_3}{m_1} = 2'5$$

Se puede realizar de otra manera, sin saber en el apartado a) ningún tipo de caudal, es decir, deberíamos de suponer una base de cálculo (ej: $F^1 = 100 \text{ kg/h}$) y a partir de ese dato obtener el resto de caudales y porcentajes de peso.

EJERCICIO 4



MALTA = M

LUPULO = L

AGUA = H

$$F^1 = 1000 \text{ kg/h}$$

$$W_M^1 = 20\%$$

$$W_L^1 = 10\%$$

$$\begin{cases} F^2 = 2F^3 \\ F^3 = \frac{1}{3}F^4 \end{cases}$$

ANALISIS GRADOS LIBERTAD.

	VARIABLES	DATOS
CAUDAL	4	1
COMPOS.	8	2
EC. BALAN.		3
RESTRIC.		4
RELACION.		2
	12	12

$$\begin{aligned} \text{REST.} &= (R-1) \cdot (N-1) = \\ &= (3-1) \cdot (3-1) \end{aligned}$$

$$\underline{\text{REST.} = 4}$$

ECUACIONES POR ELEMENTOS:

$$M) \quad W_M^1 \cdot F^1 = W_M^2 \cdot F^2 + W_M^3 \cdot F^3 + W_M^4 \cdot F^4$$

$$L) \quad W_L^1 \cdot F^1 = W_L^2 \cdot F^2 + W_L^3 \cdot F^3 + W_L^4 \cdot F^4$$

$$H) \quad W_H^1 \cdot F^1 = W_H^2 \cdot F^2 + W_H^3 \cdot F^3 + W_H^4 \cdot F^4$$

$$\text{GLOBAL) } F^1 = F^2 + F^3 + F^4 \rightarrow 1000 = 2F^3 + F^3 + 3F^3 \rightarrow$$

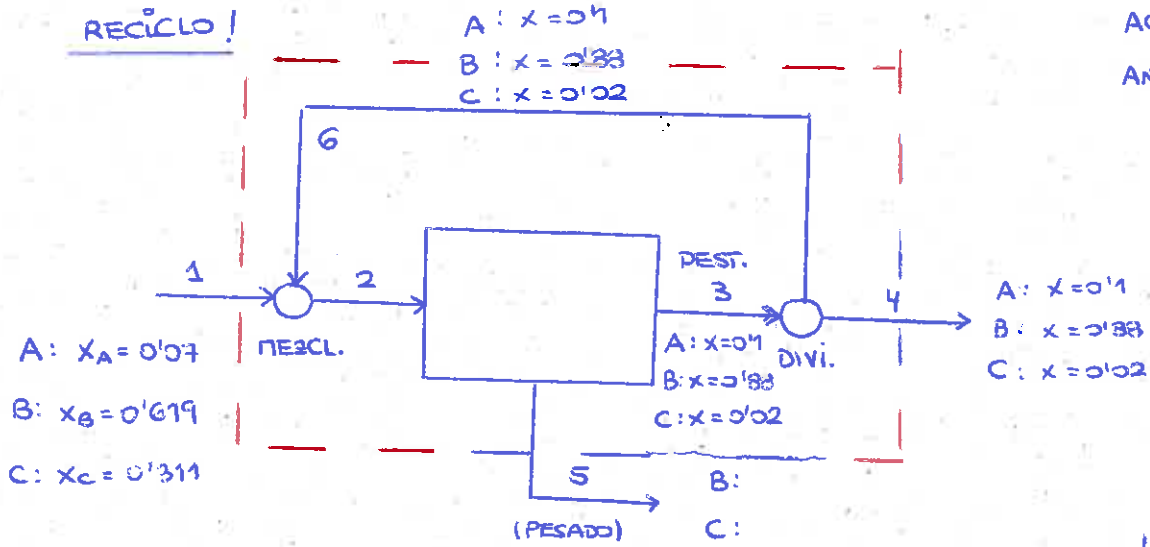
$$F^3 = 166.67 \text{ kg/h}$$

$$\text{RELACION.) } \begin{cases} F^2 = 2F^3 \rightarrow F^2 = 2 \cdot 166.67 \rightarrow F^2 = 333.33 \text{ kg/h} \\ F^4 = 3F^3 \rightarrow F^4 = 3 \cdot 166.67 \rightarrow F^4 = 500 \text{ kg/h} \end{cases}$$

$$F^4 = 500 \text{ kg/h}$$

EJERCICIO 5

ACETONA \equiv A
 ACIDO ACETICO \equiv B
 ANHIDRIDO " \equiv C



ANALISIS GRADOS LIBERTAD:

$$\begin{cases} N^6 = \frac{60}{18} N^3 \\ N^4 = 700 \text{ mol/h} \end{cases}$$

		GLOBAL	DIVISOR
VARIABLES	CAUDAL	3	3
	COMPOSICION	5	6
DATOS	CAUDAL	1	1
	COMPOSICION	2	2
	EC. BALANZ.	3	3
	RESTR.	2	2
	RELACION	-	1
		0	0

$$\text{REST}_{DIV} = (R-1)(N-1) = (2-1)(3-1) = 2$$

$$\text{REST}_{GLB.} = (R-1)(N-1) = (2-1)(3-1) = 2$$

DIVISOR ∇

$$x_i^3 = x_i^4 = x_i^6$$

ECUACIONES POR ELEMENTOS (GLOBAL)

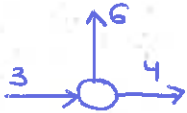
$$A) : x_A^1 \cdot N^1 = x_A^4 \cdot N^4 \rightarrow 0.07 \cdot N^1 = 0.1 \cdot 700 \rightarrow N^1 = 1000 \text{ mol/h}$$

$$B) : x_B^1 \cdot N^1 = x_B^4 \cdot N^4 + x_B^5 \cdot N^5 \rightarrow 0.619 \cdot 1000 = 0.88 \cdot 700 + x_B^5 \cdot 300 \rightarrow x_B^5 = 0.101$$

$$C) : x_C^1 \cdot N^1 = x_C^4 \cdot N^4 + x_C^5 \cdot N^5 \rightarrow 0.311 \cdot 1000 = 0.02 \cdot 700 + x_C^5 \cdot 300 \rightarrow x_C^5 = 0.99$$

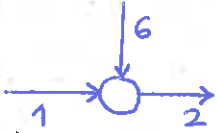
$$\text{GLOBAL) } N^1 = N^4 + N^5 \rightarrow N^5 = 1000 - 700 \rightarrow N^5 = 300 \text{ mol/h}$$

DIVISOR



$$\begin{cases} N^3 = N^4 + N^6 \rightarrow N^3 = 700 + 0.6N^3 \rightarrow N^3 = 1750 \text{ mol/h} \\ N^6 = 0.6N^3 \rightarrow N^6 = 1050 \text{ mol/h} \end{cases}$$

MEZCLADOR

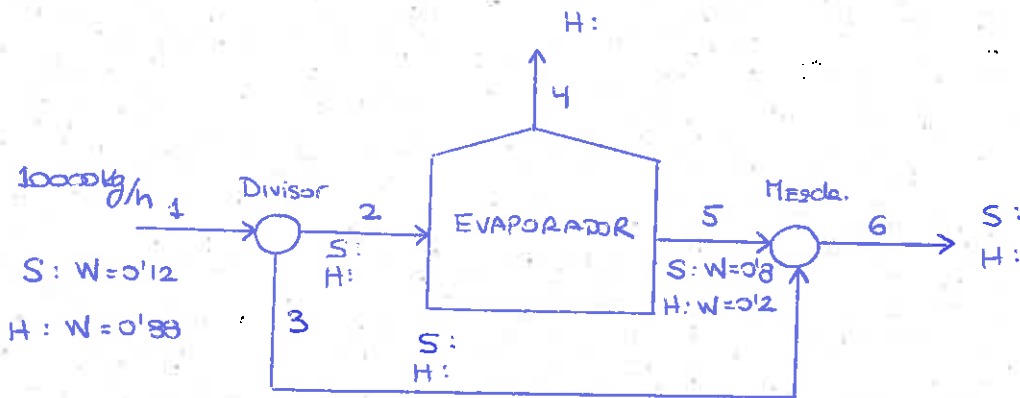


$$\begin{cases} X_A^1 \cdot N^1 + X_A^6 \cdot N^6 = X_A^2 \cdot N^2 \\ X_B^1 \cdot N^1 + X_B^6 \cdot N^6 = X_B^2 \cdot N^2 \\ X_C^1 \cdot N^1 + X_C^6 \cdot N^6 = X_C^2 \cdot N^2 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} X_A^2 = 0.085 \\ X_B^2 = 0.753 \\ X_C^2 = 0.162 \end{cases}$$

$$N^1 + N^6 = N^2 \rightarrow N^2 = 1050 + 1000 \rightarrow N^2 = 2050 \text{ mol/h}$$

EJERCICIO 6

34 PASS!!



SOLIDOS DISUELTOS \equiv S
AQUA \equiv H.

$$W_S^1 = 12\%$$

$$W_S^5 = 80\%$$

$$F^1 = 10000 \text{ kg/h}$$

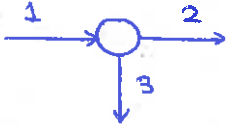
$$\frac{F^3}{F^1} = 0.1$$

ANALISIS GRADOS DE LIBERTAD

	GLOBAL	DIVISOR	MEZCLADOR
CAUDAL	3	3	3
COMPOSIC.	2	3	3
CAUDAL	1	1	0
COMPOSIC.	1	1	1
EC. BALAN.	2	2	2
RESR.	1 ?	1	1 ?
RELAC.	0	1	1
	0	0	1

$$\begin{aligned} \text{RESTRIC.} &= (R-1)(N-1) = \\ &= (2-1) \cdot (2-1) = \underline{\underline{1}} \end{aligned}$$

DIVISOR



$$\left\{ \begin{aligned} F_1 &= F_2 + F_3 \rightarrow \underline{F_2 = 9000 \text{ kg/h}} \\ F_3 &= 0.1 F_1 \rightarrow F_3 = 0.1 \cdot 10000 \rightarrow \underline{F_3 = 1000 \text{ kg/h}} \end{aligned} \right.$$

$$W_S^1 = W_S^2 = W_S^3 \quad ; \quad W_H^1 = W_H^2 = W_H^3$$

GLOBAL

H) $W_H^1 \cdot F^1 = W_H^4 \cdot F^4 + W_H^6 \cdot F^6$

S) $W_S^1 \cdot F^1 = W_S^6 \cdot F^6 \rightarrow \boxed{0.12 \cdot 10000 = W_S^6 \cdot F^6}$

GLOBAL: $F^1 = F^4 + F^6 \rightarrow 10000 = F^4 + 2350 \rightarrow \boxed{F^4 = 7650 \text{ kg/h}}$

MEZCLADOR

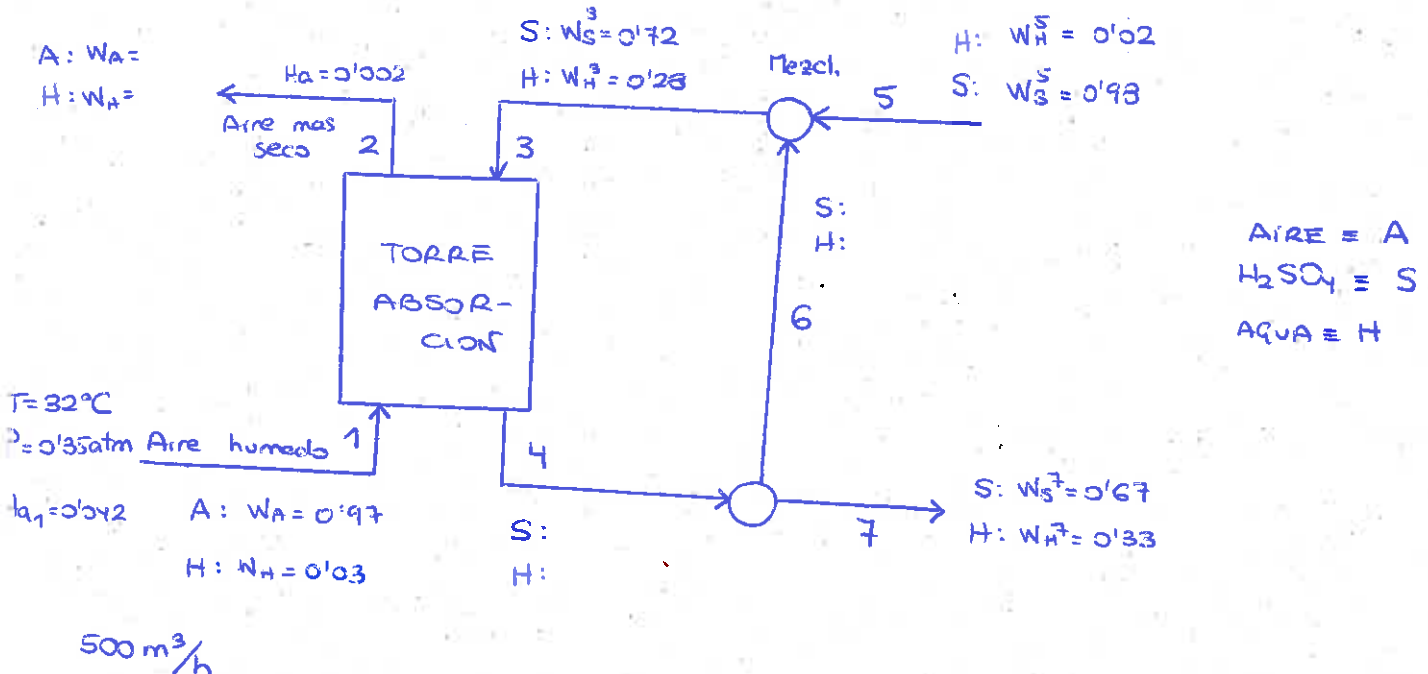
$F^5 + F^3 = F^6 \rightarrow 1350 + 1000 = F^6 \rightarrow \underline{F^6 = 2350 \text{ kg/h}}$

S) $W_S^5 \cdot F^5 + W_S^3 \cdot F^3 = W_S^6 \cdot F^6 \rightarrow \boxed{0.8 \cdot F^5 + 0.12 \cdot 1000 = W_S^6 \cdot F^6}$

H) $W_H^5 \cdot F^5 + W_H^3 \cdot F^3 = W_H^6 \cdot F^6$

$$\left\{ \begin{aligned} 0.12 \cdot 10000 &= W_S^6 F^6 \rightarrow 1200 = 2350 \cdot W_S^6 \rightarrow \boxed{W_S^6 = 0.51} \\ 0.8 \cdot F^5 + 0.12 \cdot 1000 &= W_S^6 F^6 \rightarrow 0.8 F^5 + 120 = 1200 \rightarrow \underline{F^5 = 1350 \text{ kg/h}} \end{aligned} \right.$$

EJERCICIO 7



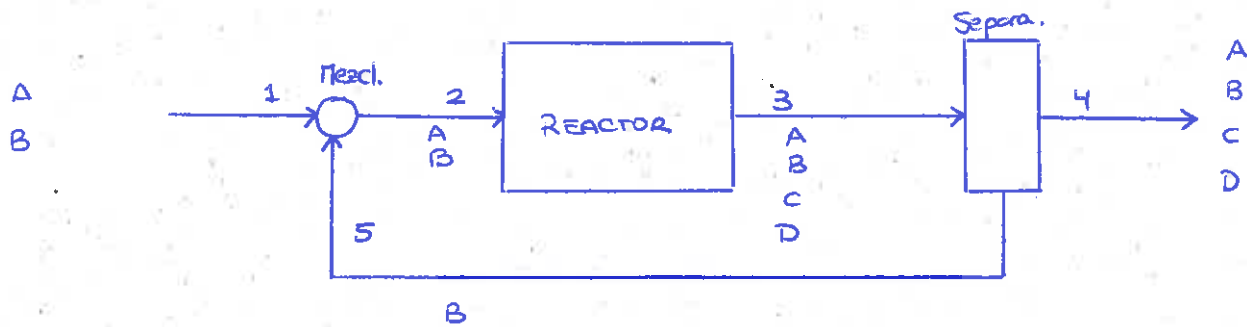
$$H_{A_1} = 0'042 \left\{ \begin{array}{l} 0'042 \text{ H}_2\text{O} \\ 1 \text{ Aire} \\ \text{humedo} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} X_H = \frac{0'042}{1'042} \rightarrow \underline{\underline{X_H^1 = 0'04}} \\ X_A = \frac{1}{1'042} \rightarrow \underline{\underline{X_A^1 = 0'96}} \end{array} \right.$$

$$H_{A_2} = 0'002 \left\{ \begin{array}{l} 0'002 \text{ H}_2\text{O} \\ 1 \text{ Aire} \\ \text{humedo} \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} X_H = \frac{0'002}{1'002} \rightarrow \underline{\underline{X_H^2 = 0'002}} \\ X_A = \frac{1}{1'002} \rightarrow \underline{\underline{X_A^2 = 0'998}} \end{array} \right.$$

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow 0'35 \text{ atm} \cdot 500 \cdot 10^3 \frac{\text{L}}{\text{h}} = n \cdot 0'082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 305 \text{ K} \rightarrow$$

$$\rightarrow \underline{\underline{n = 6997'2 \text{ mol/h} \equiv N^1}}$$

EJERCICIO 8



20% exceso de A

60% conversión por paso B

90% conversión global.

20% EXCESO DE A

$$X_A^1 = \frac{d^{(A)}}{d^{(A)} + d^{(B)}} \times 1/2 = \frac{2}{2+5} \cdot 1/2 \rightarrow \underline{X_A^1 = 0'343}$$

$$X_B^1 = 1 - X_A^1 \rightarrow \underline{X_B^1 = 0'657}$$

CONVERSION POR PASO DE B: 60%

$$X = \frac{N_B^2 - N_B^3}{N_B^2} \rightarrow 0'6 = \frac{N_B^2 - N_B^3}{N_B^2}$$

CONVERSION GLOBAL DE B: 90%

$$X = \frac{N_B^1 - N_B^4}{N_B^1} \rightarrow 0'9 = \frac{N_B^1 - N_B^4}{N_B^1}$$

ANÁLISIS GRADOS DE LIBERTAD.

	GLOBAL	REACTOR
CAUDAL	2	2
COMPOSIC.	4	4
r	1	1
CAUDAL	-	-
COMPOSIC.	1	-
EC. BALAN.	4	4
RELACION.	-	-
CONVEC. PASO	-	1
CONVER.	1	-

Como tenemos 1 grado de libertad debemos escoger una base de cálculo:

$$\underline{N^1 = 100 \text{ mol/h}}$$

ECUACIONES POR ELEMENTOS (GLOBAL)

$$A) \quad N_A^4 = N_A^1 - 2r$$

$$B) \quad N_B^4 = N_B^1 - 5r$$

$$C) \quad N_C^4 = 0 + 3r$$

$$D) \quad N_D^4 = 0 + 6r$$

$$N^4 = N^1 + 2r$$

Utilizando el dato de la conversión global:

$$0'9 = \frac{N_B^1 - N_B^4}{N_B^1} = \frac{N_B^1 - (N_B^1 - 5r)}{N_B^1} = \frac{5 \cdot r}{65'7} \rightarrow r = 11'826 \text{ mol/h}$$

$$N^1 = 100 \text{ mol/h} \begin{cases} x_A^1 = 0'343 \rightarrow \underline{N_A^1 = 34'3 \text{ mol/h}} \\ x_B^1 = 0'657 \rightarrow \underline{N_B^1 = 65'7 \text{ mol/h}} \end{cases}$$

$$N_A^4 = 34'3 - 2 \cdot 11'826 = 10'648 \text{ mol/h}$$

$$N_B^4 = 65'7 - 5 \cdot 11'826 = 6'57 \text{ mol/h}$$

$$N_C^4 = 3 \cdot 11'826 = 35'478 \text{ mol/h}$$

$$N_D^4 = 6 \cdot 11'826 = 70'956 \text{ mol/h}$$

$$\underline{N^4 = 123'652 \text{ mol/h}}$$

REACTOR ($r = 11'826$)

$$A) \quad N_A^3 = N_A^2 - 2r$$

$$B) \quad N_B^3 = N_B^2 - 5r$$

$$C) \quad N_C^3 = 0 + 3r$$

$$D) \quad N_D^3 = 0 + 6r$$

$$N^3 = N^2 + 2r$$

Utilizando el dato de la conversión por paso:

$$0'6 = \frac{N_B^2 - N_B^3}{N_B^2} = \frac{N_B^2 - (N_B^2 - 5r)}{N_B^2} \rightarrow N_B^2 = \frac{5 \cdot 11'826}{0'6} \rightarrow \underline{N_B^2 = 98'55 \text{ mol/h}}$$

$$N_B^3 = N_B^2 - (N_B^2 \cdot 0'6) \rightarrow \underline{N_B^3 = 39'42 \text{ mol/h}}$$

$$N_A^3 = 34'3 - 2 \cdot 11'826 = 10'648 \text{ mol/h}$$

$$N_B^3 = 98'55 - 5 \cdot 11'826 = 39'42 \text{ mol/h}$$

$$N_C^3 = 3 \cdot 11'826 = 35'478 \text{ mol/h}$$

$$N_D^3 = 6 \cdot 11'826 = 70'956 \text{ mol/h}$$

$$\underline{\underline{N^3 = 156'502 \text{ mol/h}}}$$

REACTOR

~~$$N_A^2 = N_A^1 - 2r = 34'3 - 2 \cdot 11'826 = 10'648 \text{ mol/h}$$~~

~~$$N_B^2 = N_B^1 + N_B^0 - 5r = 98'55 = N_B^2 + 65'7 - 5 \cdot 11'826 \quad N_B^2 = 91'98 \text{ mol/h}$$~~

MEZCLADOR (NO OCURRE REACCION QUIMICA)

$$N_A^2 = N_A^1 \rightarrow \underline{\underline{N_A^2 = 34'3 \text{ mol/h}}}$$

$$N_B^2 = N_B^5 + N_B^1 \rightarrow 98'55 = N_B^5 + 65'7 \rightarrow \underline{\underline{N_B^5 = 32'85 \text{ mol/h} = N^5}}$$

$$\boxed{\frac{N^5}{N^3} = \frac{32'85}{156'502} \cdot 100 = 21\%}$$

EJERCICIO 9



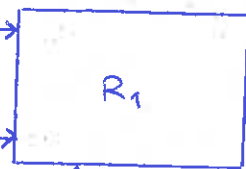
$$N_2: 0'78$$

$$\text{CO}: 0'2$$

$$\text{CO}_2: 0'02$$

$$\text{H}_2: 0'5$$

$$\text{CO}: 0'5$$



N₂
CO
CO₂
H₂
H₂O

N₂
~~CO~~
CO₂
H₂
H₂O

En el sistema total conversión del CO = 1 (100%) → se ha consumido entero.

$$\frac{X_{\text{H}_2}^S}{X_{\text{N}_2}^S} = 3$$

REACTOR 1

Conversion CO : 0'3

$$N^4 = 2(N^1 + N^2)$$

	GLOBAL	REACTOR 1	REACTOR 2
CAUDAL.	4	4	2
COMPOSIC.	6	7	7
r	1	1 (r ₁)	1 (r ₂)
CAUDAL.	-	-	-
COMPOSIC.	3	3	-
EC. BALANC.	5	5	5
RELAC.	2	1	1
CONV. PASO	-	1	-
CONVER.	-	-	-
	1	2	4

Como en el global tenemos un grado de libertad, debemos establecer una base de cálculo:

$$\underline{N^1 = 100 \text{ mol/h}}$$

$$r = r_1 + r_2$$

GLOBAL

$$N_2) \quad N_{N_2}^5 = N_{N_2}^1 \quad (\text{Es inerte}) \Rightarrow X_{N_2}^5 \cdot N^5 = X_{N_2}^1 \cdot N^1 \quad (1)$$

$$CO) \quad X_{CO}^5 \cdot N^5 = X_{CO}^1 \cdot N^1 + X_{CO}^2 \cdot N^2 - r = 0$$

$$CO_2) \quad X_{CO_2}^5 \cdot N^5 = X_{CO_2}^1 \cdot N^1 + r$$

$$H_2) \quad X_{H_2}^5 \cdot N^5 = X_{H_2}^2 \cdot N^2 + r \quad (4)$$

$$H_2O) \quad X_{H_2O}^5 \cdot N^5 = N^4 - r$$

$$N^5 = N^1 + N^2 + N^4$$

(1) → (5)

$$X_{H_2}^5 \left(\frac{0.78 \cdot 100}{X_{N_2}^5} \right) = 0.5 \cdot N^2 + r \rightarrow 3 \cdot 0.78 \cdot 100 = 0.5 N^2 + r$$

(2)

$$0.2 \cdot 100 + 0.5 \cdot N^2 = r$$

⇒

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 234 = 0.5 N^2 + 20 + 0.5 N^2 \rightarrow \underline{N^2 = 214 \text{ mol/h}} \\ r = 20 + 0.5 N^2 \rightarrow \underline{r = 127 \text{ mol/h}} \end{array} \right.$$

$$N^4 = 2(N^1 + N^2) = 2(100 + 214) \rightarrow \underline{N^4 = 628 \text{ mol/h}}$$

$$N^5 = N^1 + N^2 + N^4 = 100 + 214 + 628 \rightarrow \underline{N^5 = 942 \text{ mol/h}}$$

$$N_2) \quad X_{N_2}^5 \cdot 942 = 0.78 \cdot 100 \rightarrow X_{N_2}^5 = 0.083$$

$$CO_2) \quad X_{CO_2}^5 \cdot 942 = 0.02 \cdot 100 + 127 \rightarrow X_{CO_2}^5 = 0.1437$$

$$H_2) \quad X_{H_2}^5 \cdot 942 = 0.5 \cdot 214 + 127 \rightarrow X_{H_2}^5 = 0.248$$

$$H_2O) \quad X_{H_2O}^5 \cdot 942 = 628 - 127 \rightarrow X_{H_2O}^5 = 0.532$$

REACTOR 1

$$N_2) \quad X_{N_2}^3 \cdot N^3 = X_{N_2}^1 \cdot N^1$$

$$CO) \quad X_{CO}^3 \cdot N^3 = X_{CO}^1 \cdot N^1 + X_{CO}^2 \cdot N^2 - r_1 \quad (2)$$

$$CO_2) \quad X_{CO_2}^3 \cdot N^3 = X_{CO_2}^1 \cdot N^1 + r_1$$

$$H_2) \quad X_{H_2}^3 \cdot N^3 = \cancel{X_{H_2}^1 \cdot N^1} + X_{H_2}^2 \cdot N^2 + r_1$$

$$H_2O) \quad X_{H_2O}^3 \cdot N^3 = N^4 - r_1$$

$$N^3 = N^1 + N^2 + N^4$$

$$\underline{N^3 = 942 \text{ mol/h}}$$

Usando la conversión del CO en reactor 1.

$$0.8 = \frac{N_{CO}^1 + N_{CO}^2 - N_{CO}^3}{N_{CO}^1 + N_{CO}^2} \stackrel{(2)}{=} \frac{(N_{CO}^1 + N_{CO}^2) - (N_{CO}^1 + N_{CO}^2 - r_1)}{N_{CO}^1 + N_{CO}^2} = \frac{r_1}{X_{CO}^1 \cdot N^1 + X_{CO}^2 \cdot N^2}$$

$$\rightarrow r_1 = 0.8(0.2 \cdot 100 + 0.5 \cdot 214) \rightarrow \underline{r_1 = 101.6 \text{ mol/h}}$$

$$X_{N_2}^3 \cdot 942 = 0.78 \cdot 100 \rightarrow \underline{X_{N_2}^3 = 0.083}$$

$$X_{CO}^3 \cdot 942 = 0.2 \cdot 100 + 0.5 \cdot 214 - 101.6 \rightarrow \underline{X_{CO}^3 = 0.027}$$

$$X_{CO_2}^3 \cdot 942 = 0.02 \cdot 100 + 101.6 \rightarrow \underline{X_{CO_2}^3 = 0.110}$$

$$X_{H_2}^3 \cdot 942 = 0.5 \cdot 214 + 101.6 \rightarrow \underline{X_{H_2}^3 = 0.221}$$

$$X_{H_2O}^3 \cdot 942 = 628 - 101.6 \rightarrow \underline{X_{H_2O}^3 = 0.559}$$

EJERCICIO 10

$T = 25^{\circ}\text{C} = 298\text{K}$

TEMP. TEORICA DE LLAMA \equiv COMBUSTION COMPLETA

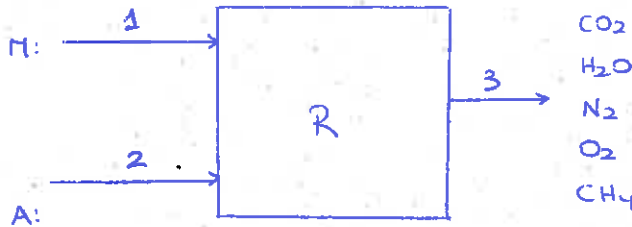
80% $\text{CH}_4 \rightarrow$ reacciona



Aire (80% N_2 , 20% O_2)

METANO \equiv M

AIRE \equiv A



ANALISIS GRADOS LIBERTAD

	GLOBAL
CAUDAL.	3
COMPOS.	4
r	1
CAUDAL.	-
COMPOSIC.	-
EC. BALAN.	5
RELAC.	-
CONV. PAS	-
CONV.	1

Elegimos una base de calculo:

$$\underline{\underline{N^1 = 100 \text{ mol/h}}}$$

Quemar metano con cantidad estequiometrica de aire:



$$\left\{ \begin{array}{l} \underline{\underline{N^1_{\text{CH}_4} = 100 \text{ mol/h}}} \\ \underline{\underline{N^2_{\text{O}_2} = 200 \text{ mol/h}}} \end{array} \right.$$

200 mol/h O_2 --- 20%

N_2 --- 80%

$\rightarrow \underline{\underline{N^2_{\text{N}_2} = 800 \text{ mol/h}}}$

ECUACIONES POR ELEMENTOS (GLOBAL)

CH_4) $N^3_{\text{CH}_4} = N^1_{\text{CH}_4} - r \rightarrow r = N^1_{\text{CH}_4} - N^3_{\text{CH}_4} \rightarrow 80 = 100 - N^3_{\text{CH}_4} \rightarrow \underline{\underline{N^3_{\text{CH}_4} = 20 \text{ mol/h}}}$

Utilizando el dato de la conversion del metano:

$$0.8 = \frac{N^1_{\text{CH}_4} - N^3_{\text{CH}_4}}{N^1_{\text{CH}_4}} \rightarrow 0.8 = \frac{r}{100} \rightarrow \boxed{r = 80 \text{ mol/h}}$$

$$\text{CO}_2) \quad N_{\text{CO}_2}^3 = 0 + r \rightarrow \underline{N_{\text{CO}_2}^3 = 80 \text{ mol/h}}$$

$$\text{H}_2\text{O}) \quad N_{\text{H}_2\text{O}}^3 = 0 + 2r \rightarrow \underline{N_{\text{H}_2\text{O}}^3 = 160 \text{ mol/h}}$$

$$\text{N}_2) \quad N_{\text{N}_2}^3 = N_{\text{N}_2}^2 \rightarrow \underline{N_{\text{N}_2}^3 = 800 \text{ mol/h}}$$

$$\text{O}_2) \quad N_{\text{O}_2}^3 = N_{\text{O}_2}^2 - 2r = 200 - 2 \cdot 80 \rightarrow \underline{N_{\text{O}_2}^3 = 40 \text{ mol/h}}$$

Condiciones adiabáticas ($Q=0$):

$$Q = 0 = \underbrace{\sum_j r_j (\Delta H_{r,j}^0)}_{\text{SALIDA}} + \underbrace{\sum N_i \int_{T_{\text{ref}}}^T C_p dT}_{\text{ENTRADA}} - \underbrace{\sum N_i \int_{T_{\text{ref}}}^T C_p dT}_{\text{ENTRADA}}$$

Suponemos con $T_{\text{ref}} = 298 \text{ K}$, es decir, ~~así~~ así hacemos coincidir con la temperatura a la entrada del reactor de tal manera que simplificamos un término.

$$\sum N_i C_p \begin{cases} \text{CO}_2) & 80 (7.7 + 0.0053 T) \\ \text{H}_2\text{O}) & 160 (8.15 + 0.001 T) \\ \text{N}_2) & 800 (6.5 + 0.001 T) \\ \text{O}_2) & 40 (6.5 + 0.001 T) \\ \text{CH}_4) & 20 (7.5 + 0.005 T) \end{cases}$$

$$7530 + 1.524 T$$

$$0 = 80 (-165.2 \cdot 10^3) + \int_{298}^T (7530 + 1.524 T) dT \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 13.216 \cdot 10^6 = 7530 T \Big|_{298}^T + 1.524 \frac{T^2}{2} \Big|_{298}^T \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 13.216 \cdot 10^6 = 7530 T - 2243940 + 0.762 T^2 - 67668.648 \Rightarrow$$

$$0.762 T^2 + 7530 T - 15527608.65 = 0 \rightarrow \boxed{T_3 = 1751.62 \text{ K}}$$

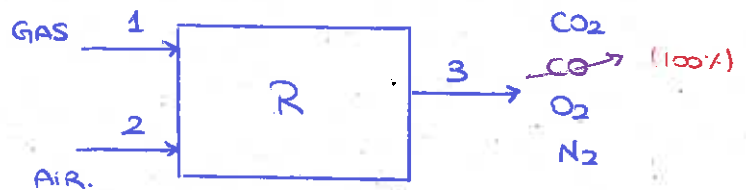
EJERCICIO 11

$$\text{GAS} \begin{cases} 20\% \text{ CO} \\ 80\% \text{ N}_2 \end{cases}$$



Exceso de aire : 100%

$$T = 25^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$$



Suponemos una base de calculo: $N^1 = 100 \text{ mol/h}$

$$N^1 = 100 \text{ mol/h} \begin{cases} \underline{\underline{N_{\text{CO}}^1 = 20 \text{ mol/h}}} \\ \underline{\underline{N_{\text{N}_2}^1 = 80 \text{ mol/h}}} \end{cases}$$

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ mol CO} \text{ --- } 20 \text{ mol/h} \\ 0.5 \text{ mol O}_2 \text{ --- } x \end{array} \right\} N_{\text{O}_2}^2 \text{ ESTEQ.} = 10 \text{ mol/h}$$

Nos dicen exceso de aire del 100%

$$N_{\text{O}_2}^2 = 10 \cdot 2 \rightarrow \underline{\underline{N_{\text{O}_2}^2 = 20 \text{ mol/h}}}$$

$$20 \text{ mol/h O}_2 \cdot \frac{0.79\% \text{ N}_2}{0.21\% \text{ O}_2} \rightarrow \underline{\underline{N_{\text{N}_2}^2 = 75.24 \text{ mol/h}}}$$

ECUACIONES POR ELEMENTOS:

$$\text{CO}_2) \quad N_{\text{CO}_2}^3 = 0 + r \rightarrow \underline{\underline{N_{\text{CO}_2}^3 = 20 \text{ mol/h}}}$$

~~$$\text{CO) } N_{\text{CO}}^3 = N_{\text{CO}}^1 - r = 0 \rightarrow r = N_{\text{CO}}^1 \rightarrow \boxed{r = 20 \text{ mol/h}}$$~~

$$\text{O}_2) \quad N_{\text{O}_2}^3 = N_{\text{O}_2}^2 - 0.5r = 20 - 0.5 \cdot 20 \rightarrow \underline{\underline{N_{\text{O}_2}^3 = 10 \text{ mol/h}}}$$

$$\text{N}_2) \quad N_{\text{N}_2}^3 = N_{\text{N}_2}^1 + N_{\text{N}_2}^2 = 80 + 75.24 \rightarrow \underline{\underline{N_{\text{N}_2}^3 = 155.24 \text{ mol/h}}}$$

$$Q = \sum n_j \cdot (\Delta H_f^\circ) + \underbrace{\sum N_i \int_{T_{ref}}^T C_p dT}_{\text{SALIDA}} - \underbrace{\sum N_i \int_{T_{ref}}^T C_p dT}_{\text{ENTRADA}} \quad (T_{REF} = 298 \text{ K})$$

$$\sum C_p N_i \left\{ \begin{array}{l} \text{CO}_2) \quad 20 (6'34 + 0'01 T) \\ \text{O}_2) \quad 10 (6'12 + 0'003 T) \\ \text{N}_2) \quad 155'24 (6'46 + 0'0014 T) \end{array} \right.$$

$$1190'85 + 0'447 T$$

$$0 = 20 \cdot (-67'636 \cdot 10^3) + \int_{298}^T (1190'85 + 0'447 T) dT$$

$$0 = -1352720 + 1190'85 T - 354873'3 + 0'2235 T^2 - 19847'694$$

$$0'2235 T^2 + 1190'85 T - 1727440'994 = 0 \quad \rightarrow \quad T = 1186 \text{ K} = 913^\circ \text{C}$$

b) $T = 1000^\circ \text{C} = 1273 \text{ K} \quad \rightarrow \quad T_{REF} = 1273 \text{ K}$

$$\text{AIR.} \begin{cases} 20\% \text{ O}_2 \\ 1\% \text{ Ar} \\ 79\% \text{ N}_2 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \text{PESO AIR} &= 375'74 \text{ kmol} \cdot 0'2 \cdot \frac{32 \text{ kg O}_2}{1 \text{ kmol O}_2} + 375'74 \cdot 0'79 \cdot \frac{28 \text{ kg N}_2}{1 \text{ kmol N}_2} + \\ &+ 375'74 \cdot 0'01 \cdot \frac{40 \text{ kg Ar}}{1 \text{ kmol Ar}} \rightarrow \boxed{\text{PESO AIR} = 10'866'4 \text{ kg}} \end{aligned}$$

c)

50% exceso aire.

$$N_{\text{O}_2} = N_{\text{O}_2 \text{ ESTEQ.}} \cdot 1'5 = 78'91 \cdot 1'5 \rightarrow \underline{\underline{N_{\text{O}_2}^2 = 118'4 \text{ kmol O}_2}}$$

$$N_{\text{Ar}} = \frac{118'4 \text{ kmol O}_2}{0'2} \cdot 0'01 \rightarrow \underline{\underline{N_{\text{Ar}}^2 = 5'64 \text{ kmol Ar} = N_{\text{Ar}}^3}}$$

$$N_{\text{N}_2} = \frac{118'4 \text{ kmol O}_2}{0'2} \cdot 0'79 \rightarrow \underline{\underline{N_{\text{N}_2}^2 = 467'63 \text{ kmol N}_2}}$$

$$N_{\text{CO}_2} = 840 \text{ kg C} \cdot \frac{1 \text{ kmol C}}{12 \text{ kg C}} \cdot \frac{1 \text{ kmol CO}_2}{1 \text{ kmol C}} \rightarrow \underline{\underline{N_{\text{CO}_2}^3 = 70 \text{ kmol CO}_2}}$$

$$N_{\text{SO}_2} = 5 \text{ kg S} \cdot \frac{1 \text{ kmol S}}{32 \text{ kg S}} \cdot \frac{1 \text{ kmol SO}_2}{1 \text{ kmol S}} \rightarrow \underline{\underline{N_{\text{SO}_2}^3 = 0'15625 \text{ kmol SO}_2}}$$

$$N_{\text{N}_2} = 24 \text{ kg N} \cdot \frac{1 \text{ kmol N}}{14 \text{ kg N}} \cdot \frac{1 \text{ kmol N}_2}{2 \text{ kmol N}} + N_{\text{N}_2}^2 \rightarrow \underline{\underline{N_{\text{N}_2}^3 = 468'54 \text{ kmol N}_2}}$$

$$N_{\text{O}_2} = N_{\text{O}_2}^2 - N_{\text{O}_2 \text{ ESTEQ.}} = 118'4 - 78'91 \rightarrow \underline{\underline{N_{\text{O}_2}^3 = 39'49 \text{ kmol O}_2}}$$

$$N_{\text{SECO}}^3 = \underbrace{70}_{\text{CO}_2} + \underbrace{0'15625}_{\text{SO}_2} + \underbrace{468'54}_{\text{N}_2} + \underbrace{39'49}_{\text{O}_2} + \underbrace{5'64}_{\text{Ar}} \rightarrow \boxed{N_{\text{SECO}}^3 = 583'83 \text{ kmol}}$$

$$\% \text{ CO}_2 = 12\% \quad \% \text{ SO}_2 = 0'03\% \quad \% \text{ N}_2 = 80'25\%$$

$$\% \text{ O}_2 = 6'76\% \quad \% \text{ Ar} = 0'96\%$$

EJERCICIO 13

CARBÓN {
78% C
5% H
8% O
8% ceniza
1% humedad

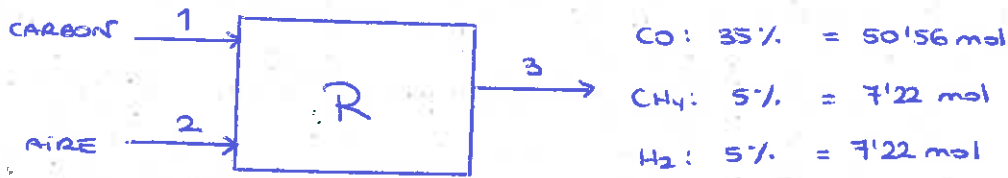
Gasifica
→
(AIRE)

GAS {
35% CO
5% CO₂
5% CH₄
5% H₂
50% N₂

$$\Delta H_c^\circ (\text{CO}) = -67'64 \text{ Kcal/mol}$$

$$\Delta H_c^\circ (\text{CH}_4) = -212'8 \text{ Kcal/mol}$$

$$\Delta H_c^\circ (\text{H}_2) = -68'32 \text{ Kcal/mol}$$



Estableceremos como base de cálculo: 1000 g

$$780 \text{ g C} \cdot \frac{1 \text{ mol C}}{12 \text{ g C}} = 65 \text{ mol C}$$

$$N^3 = \frac{65 \text{ mol}}{0'45} \rightarrow \underline{\underline{N^3 = 144'44 \text{ mol}}}$$

EJERCICIO 14

N_2 : 66%
 CO : 20%
 H_2 : 7%
 CH_4 : 2%
 CO_2 : 5%



N_2 : 80'15%
 CO : 5'94%
 CO_2 : 8'64%
 O_2 : 5'31%
 H_2O :

$$N^1 = 100 \text{ mol/h}$$

Aire $\left\{ \begin{array}{l} 79\% N_2 \\ 21\% O_2 \end{array} \right.$

$X_{CO} = 0'5$
 Excess air = 25%

$$\text{Conver.} = \frac{N_{in} - N_{out}}{N_{in}} \rightarrow 0'5 = \frac{20 - N_{CO}^3}{20} \rightarrow \underline{N_{CO}^3 = 10 \text{ mol/h}}$$

a)

$$N^1 \cdot X_{CO}^1 + N^1 \cdot X_{CO_2}^1 + N^1 \cdot X_{CH_4}^1 = N^3 \cdot X_{CO}^3 + N^3 \cdot X_{CO_2}^3$$

$$100 \cdot \frac{20}{100} + 100 \cdot \frac{5}{100} + 100 \cdot \frac{2}{100} = N^3 \cdot \frac{5'94}{100} + N^3 \cdot \frac{8'64}{100} \rightarrow \underline{N_{SECO}^3 = 185'2 \text{ mol/h}}$$

$$N^1 \cdot X_{N_2}^1 + N^2 \cdot X_{N_2}^2 = N_{SECO}^3 \cdot X_{N_2}^3$$

$$100 \cdot \frac{66}{100} + N^2 \cdot \frac{79}{100} = 185'2 \cdot \frac{80'15}{100} \rightarrow \underline{N^2 = 104'35 \text{ mol aire/h}}$$

$\begin{array}{l} \nearrow N_{N_2} = \\ \searrow N_{O_2} = \end{array}$

$$H) \underbrace{100 \cdot \frac{7}{100} \cdot 2}_{H_2} + \underbrace{100 \cdot \frac{2}{100} \cdot 4}_{CH_4} = \underbrace{N^3 \cdot X_{H_2O}^3 \cdot 2}_{H_2O} \rightarrow \underline{N^3 \cdot X_{H_2O}^3 = 11}$$

$$\underline{N_{H_2O}^3 = 11 \text{ mol/h}}$$

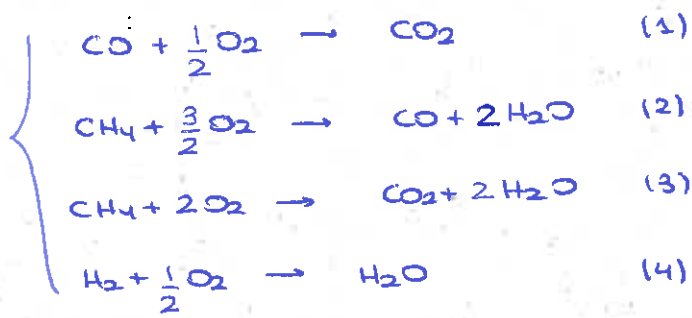
$$O) 100 \cdot \frac{20}{100} \cdot 1 + 100 \cdot \frac{5}{100} \cdot 2 + 104'35 \cdot \frac{21}{100} \cdot 2 =$$

$$= N_{SECA}^3 \cdot X_{CO_{SECA}}^3 \cdot 1 + N_{SECA}^3 \cdot X_{CO_2_{SECA}}^3 \cdot 2 + N_{SECA}^3 \cdot \frac{5'31}{100} \cdot 2 + N^3 \cdot X_{H_2O}^3 \cdot 1$$

$$73'827 = 11 + 32 + 19'668 + N^3 \cdot X_{H_2O}^3$$

b)

Posibles reacciones:



Ecuaciones:

$$\text{CO}) \quad N_{\text{CO}}^3 = N_{\text{CO}}^1 - r_1 + r_2 \rightarrow 135'2 \cdot 0'0594 = 100 \cdot 0'2 - 10 + r_2 \rightarrow \underline{r_2 = 1 \text{ mol/h}}$$

$$\text{CH}_4) \quad N_{\text{CH}_4}^3 = 0 = N_{\text{CH}_4}^1 - r_2 - r_3 \rightarrow 0 = 100 \cdot 0'02 - 1 - r_3 \rightarrow \underline{r_3 = 1 \text{ mol/h}}$$

$$\text{H}_2) \quad N_{\text{H}_2}^3 = 0 = N_{\text{H}_2}^1 - r_4$$

$$\text{H}_2\text{O}) \quad N_{\text{H}_2\text{O}}^3 = 2r_2 + 2r_3 + r_4$$

$$\text{O}_2) \quad N_{\text{O}_2}^3 = \frac{5'31}{100} = -\frac{3}{2}r_2 - \frac{1}{2}r_2 - 2r_3 - \frac{1}{2}r_4$$

Utilizando el dato de conversión de CO en la primera reacción.

$$0'5 = \frac{N_{\text{IN}}^1 - N_{\text{OUT}}^3}{N_{\text{IN}}^1} = \frac{N_{\text{CO}}^1 - N_{\text{CO}}^3}{N_{\text{CO}}^1} = \frac{r_1}{20} \rightarrow \underline{r_1 = 10 \text{ mol/h}}$$

Como $r_2 = r_3 \rightarrow$ implica que la conversión de CH₄ en CO y CO₂ es del 50% en cada una.

c)

$$\Delta H_{r_1}^\circ = \Delta H_f(\text{CO}_2) - \Delta H_f(\text{CO}) - 0'5 \Delta H_f(\text{O}_2) = (-94'05) - (-26'4) = -67'65$$

$$\Delta H_{r_2}^\circ = \Delta H_f(\text{CO}) + 2 \Delta H_f(\text{H}_2\text{O})_L - \Delta H_f(\text{CH}_4) - \frac{3}{2} \Delta H_f(\text{O}_2) = -145'15$$

$$\Delta H_{r_3}^\circ = \Delta H_f(\text{CO}_2) + 2 \Delta H_f(\text{H}_2\text{O})_L - \Delta H_f(\text{CH}_4) - 2 \Delta H_f(\text{O}_2) = -212'8$$

$$\Delta H_{r_4}^\circ = \Delta H_f(\text{H}_2\text{O}) - \Delta H_f(\text{H}_2) - 0'5 \Delta H_f(\text{O}_2) = -68'32$$

$$\textcircled{4} \quad \underline{\underline{\text{PCS} = 493'92 \quad ??}}$$

Utilizamos $\Delta H_f(\text{H}_2\text{O})_L \rightarrow$ porque estamos calculando el superior.

Ahora como vamos a calcular el inferior debemos sustituir ΔH_f (Liq) por ΔH_f (vap) y realizar la misma operacion.

EJERCICIO 15

Metanol $\left\{ \begin{array}{l} T = 675^\circ\text{C} \\ P = 1\text{bar} \end{array} \right.$

$X_{\text{NET}} = 0.25$; $Q = 0$



$$\left. \begin{array}{l} C_p (\text{CH}_3\text{OH}) = 17 \text{ cal/mol}\cdot\text{C} \\ C_p (\text{HCHO}) = 12 \text{ cal/mol}\cdot\text{C} \\ C_p (\text{H}_2) = 7 \text{ cal/mol}\cdot\text{C} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta H_f^\circ (298) = -48.08 \text{ Kcal/mol (Metano)} \\ \Delta H_f^\circ (298) = -27.7 \text{ Kcal/mol (formaldeh.)} \end{array} \right.$$

	GLOBAL
CAUDAL	2
COMP. OS.	2
r	1
CAUDAL	-
COMPOS.	-
E.C. BAL.	3
RELAC.	-
CONVERS.	1
	1



G.L = 1 \rightarrow base de calculo.

$N^1 = 1000 \text{ mol/h}$

ECUACIONES POR ELEMENTOS

$$\left. \begin{array}{l} \text{M)} \quad N_n^2 = N_n^1 - r \rightarrow r = N_n^1 - N_n^2 \rightarrow \underline{N_n^2 = 750 \text{ mol/h}} \\ \text{H)} \quad N_H^2 = r \rightarrow \underline{N_H^2 = 250 \text{ mol/h}} \\ \text{F)} \quad N_F^2 = r \rightarrow \underline{N_F^2 = 250 \text{ mol/h}} \end{array} \right\} \underline{N^2 = 1250 \text{ mol/h}}$$

Haciendo uso de la conversion:

$$0.25 = \frac{N_n^1 - N_n^2}{N_n^1} = \frac{r}{1000} \rightarrow \underline{r = 250 \text{ mol/h}}$$

$$\Delta H_r^\circ (298) = \Delta H_f^\circ (F) - \Delta H_f^\circ (M) = -2717 - (-4303) \rightarrow \Delta H_r (298) = 420'33 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}}$$

$$Q = \sum r \cdot \Delta H_r + \underbrace{\sum N_i \int_{T_{ref}}^T C_p dT}_{\text{SALIDA}} - \underbrace{\sum N_i \int_{T_{ref}}^T C_p dT}_{\text{Entrada}}$$

$$\Delta H_r (943) = \Delta H_r (298) + \int_{298}^{943} \sum d_i \cdot C_p dT =$$

$$= 420'33 \cdot 10^3 + \int_{298}^{943} (7 + 12 - 17) dT \rightarrow \Delta H_r^\circ (943) = 21680 \text{ cal/mol} = 21'68 \text{ Kcal/mol}$$

~~$$Q = 250 \cdot 21'68 + 1000 \cdot \int_{943}^T (7 + 12 + 17) dT$$~~

~~$$Q = 5420 + 1250 \cdot (T - 943)$$~~

$$\sum N_i \cdot C_p \cdot \begin{cases} (M) & 750 \cdot 17 \\ (F) & 250 \cdot 12 \\ (H) & 250 \cdot 7 \end{cases}$$

17500

$$0 = 250 \cdot 21'68 \cdot 10^3 + \int_{943}^T 17500 dT$$

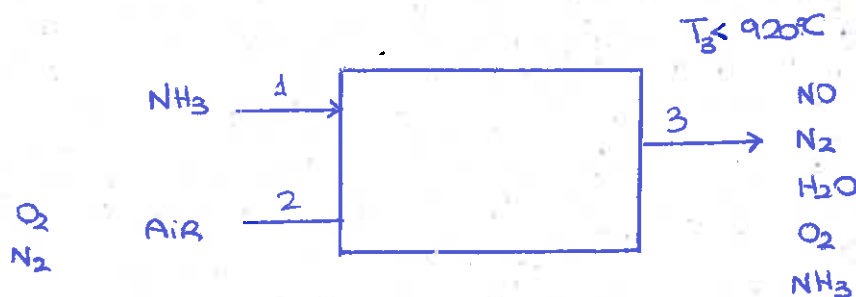
$$-5'42 \cdot 10^6 = 17500 (T - 943) \rightarrow T = 638'29 \text{ K} = 365'29^\circ\text{C}$$

EJERCICIO 16

$$\text{NH}_3 \begin{cases} T = 25^\circ\text{C} \\ X_{\text{NH}_3} = 0'9 \end{cases}$$

$$\text{Aire} \begin{cases} T = 750^\circ\text{C} \\ P = 1 \text{ bar} \end{cases}$$

$$\frac{N_{\text{O}_2}}{N_{\text{NH}_3}} = 2'4$$





	GLOBAL
CAUDAL.	3
COMPOS.	5
r	1
CAUDAL	-
COMPOS.	1 (aire)
EC. BAL.	5
RELAC.	1
CONV.	1
	1

Establezcamos base de cálculo: $N_1^1 = 1 \text{ mol/h}$



$$\underline{\text{NO}_2 \text{ ESTEQ.} = 1.25 < 2.4}$$

↓
No₂

ECUACIONES POR COMPONENTES:

$$\text{NO)} \quad N_{\text{NO}}^3 = 4r \rightarrow \underline{\underline{N_{\text{NO}}^3 = 0.9 \text{ mol/h}}}$$

$$\text{N}_2) \quad N_{\text{N}_2}^3 = N_{\text{N}_2}^2 \rightarrow \underline{\underline{N_{\text{N}_2}^3 = 9.03 \text{ mol/h}}}$$

$$\text{H}_2\text{O)} \quad N_{\text{H}_2\text{O}}^3 = 6r \rightarrow \underline{\underline{N_{\text{H}_2\text{O}}^3 = 1.35 \text{ mol/h}}}$$

$$\text{O}_2) \quad N_{\text{O}_2}^3 = N_{\text{O}_2}^2 - 5r \rightarrow \underline{\underline{N_{\text{O}_2}^3 = 1.275 \text{ mol/h}}}$$

$$\text{NH}_3) \quad N_{\text{NH}_3}^3 = N_{\text{NH}_3}^1 - 4r \rightarrow \underline{\underline{N_{\text{NH}_3}^3 = 0.1 \text{ mol/h}}}$$

$$0.9 = \frac{N_{\text{NH}_3}^1 - N_{\text{NH}_3}^3}{N_{\text{NH}_3}^1} \rightarrow 0.9 = \frac{4r}{1} \rightarrow \boxed{r = 0.225 \text{ mol/h}}$$



$$N_{\text{N}_2}^2 = 2.4 \cdot \frac{0.79}{0.21} = 9.03 \text{ mol/h}$$

$$Q = r \cdot \Delta H_r^{1193} + \underbrace{\int_{T_{ref}}^T \sum Ni C_p dt}_{\text{SALIDA}} - \underbrace{\int_{T_{ref}}^T \sum Ni C_p dT}_{\text{ENTRADA}} - \underbrace{\int_{T_{ref}}^T \sum Ni C_p dT}_{\text{aire entra.}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta H_r^{298} (H_2O)_L = -279'33 \text{ Kcal/mol} \\ \Delta H_{VL}^{298} (H_2O) = -10'52 \text{ Kcal/mol} \end{array} \right.$$

$$T_{REF} = 920^\circ\text{C} = 1193 \text{ K}$$

$$\Delta H_r (H_2O)_L = 6 \cdot \Delta H_f (H_2O)_L + 4 \Delta H_f (NO) - 4 \Delta H_f (NH_3) =$$

$$= 6 [\Delta H_f (H_2O)_g + (-10'52)] + 4 \Delta H_f (NO) - 4 \Delta H_f (NH_3) =$$

$$= 6 (-10'52) + \Delta H_r (H_2O)_v \rightarrow$$

$$\Rightarrow -279'33 = 6 (-10'52) + \Delta H_r (H_2O)_v \rightarrow \Delta H_r (H_2O)_g = \underline{\underline{-216'21 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}}}}^{298}$$

$$Q = 0'225 \cdot (-223'5 \cdot 10^3) + \int_{1193}^{1193} \sum Ni C_p dt - \int_{1193}^{298} 1 \cdot C_{p_{NH_3}} - \int_{1193}^{1023} (2'4 \cdot C_{p_{O_2}} + 9'03 C_{p_{N_2}}) \quad (\text{X})$$

Los valores de C_p sacarlos de las tablas

$$\Delta H (1193) = \Delta H (298) + \int_{298}^{1193} (\sum di C_p) dT =$$

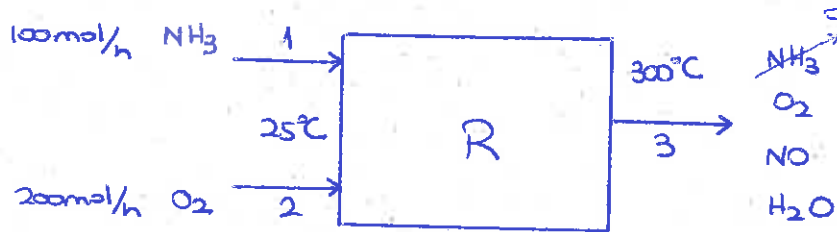
$$= -216'21 \cdot 10^3 + \int_{298}^{1193} (6 \cdot C_{p_{H_2O}} + 4 C_{p_{NO}} - 4 C_{p_{NH_3}} - 5 C_{p_{O_2}}) dT \rightarrow$$

$$\rightarrow \underline{\underline{\Delta H (1193) = -223'5 \text{ Kcal/mol}}}$$

$$\text{(X)} \quad Q = \dots$$

EJERCICIO 17

$$\Delta H_r = -90416 \text{ KJ/mol} \quad \left\{ \begin{array}{l} T = 25^\circ\text{C} \\ P = 1 \text{ atm} \end{array} \right.$$



	GLOBAL.
CAUDAL.	3
COMPOS.	2
r	1
CAUDAL	2
COMPOS.	-
EC. BALA.	4
REL.	
CONV.	
	0

$$C_{p_{\text{O}_2}} = 7.13 \text{ cal/mol}^\circ\text{C}$$

$$C_{p_{\text{NO}}} = 7.13 \text{ cal/mol}^\circ\text{C}$$

$$C_{p_{\text{H}_2\text{O}}} = 8.12 \text{ cal/mol}^\circ\text{C}$$

ECUACIONES POR ELEMENTOS

$$\text{NH}_3) \quad N_{\text{NH}_3}^3 = N_{\text{NH}_3}^1 - 4r \rightarrow 0 = 100 - 4r \rightarrow \underline{r = 25 \text{ mol/h}}$$

$$\text{O}_2) \quad N_{\text{O}_2}^3 = N_{\text{O}_2}^1 - 5r = 200 - 5 \cdot 25 \rightarrow \underline{N_{\text{O}_2}^3 = 75 \text{ mol/h}}$$

$$\text{NO}) \quad N_{\text{NO}}^3 = 4r = 4 \cdot 25 \rightarrow \underline{N_{\text{NO}}^3 = 100 \text{ mol/h}}$$

$$\text{H}_2\text{O}) \quad N_{\text{H}_2\text{O}}^3 = 6r = 6 \cdot 25 \rightarrow \underline{N_{\text{H}_2\text{O}}^3 = 150 \text{ mol/h}}$$

$$Q = \sum r \cdot \Delta H_r + \underbrace{\int_{T_{\text{ref}}}^T \sum N_i C_p dT}_{\text{SALIDA}} - \underbrace{\int_{T_{\text{ref}}}^T \sum N_i C_p dT}_{\text{ENTRADA}} \quad T_{\text{REF}} = 293 \text{ K}$$

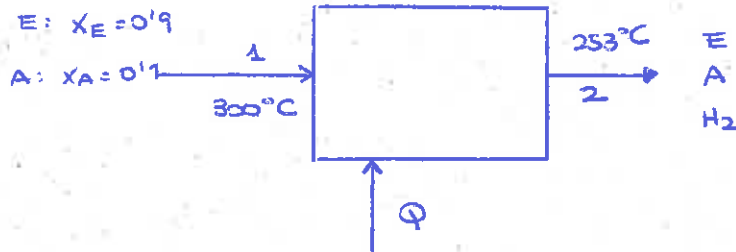
$$\sum Ni C_p \left\{ \begin{array}{l} NO) 100 \cdot 7'1 \\ O_2) 75 \cdot 7'1 \\ H_2O) 150 \cdot 8'2 \end{array} \right.$$

$$2472'5 \text{ cal/h}^\circ\text{C} = 10353'85 \text{ J/c.h}$$

$$Q = 25 \cdot (-904'6 \cdot 10^3) + \int_{298}^{573} 10353'85 \text{ dT} \rightarrow \boxed{Q = -197667691'25 \text{ J/h}}$$

$$\boxed{Q = -19767'69 \text{ KJ/h}}$$

EJERCICIO 18



ETANOL $\equiv E$
ACETALDEHIDO $\equiv A$

$$Q = 1627 \text{ KJ}$$

100 mol

$$\Delta H_r(25^\circ\text{C}) = 68'95 \frac{\text{KJ}}{\text{mol}}$$

ECUACIONES POR ELEMENTOS

$$E) N_E^2 = N_E^1 - r = 0.9 \cdot 100 - r$$

$$A) N_A^2 = N_A^1 + r = 0.1 \cdot 100 + r$$

$$H_2) N_{H_2}^2 = r$$

⊗ SIG. PAQ.

$$Q = \sum r \cdot \Delta H_r + \underbrace{\int_{T_{ref}}^T \sum Ni C_p \text{ dT}}_{\text{SALIDA}} - \underbrace{\int_{T_{ref}}^T \sum Ni C_p \text{ dT}}_{\text{ENTRADA}} \quad (T_{REF} = 298 \text{ K})$$

$$1627 = r \cdot 68'95 + \int_{298}^{526} (10'7 - 10^{-3}r) \text{ dT} - \int_{298}^{573} 10'7 \text{ dT} \Rightarrow$$

$$\sum Ni C_p \left\{ \begin{array}{l} E) (90-r) \cdot 0'110 \\ A) (10+r) \cdot 0'08 \\ H_2) r \cdot 0'029 \end{array} \right.$$

$$10'7 - 10^{-3}r$$

$$\sum Ni C_p \left\{ \begin{array}{l} E) 90 \cdot 0'110 \\ A) 10 \cdot 0'08 \end{array} \right.$$

$$10'7$$

$$1627 = 68'95r + 10'7(526 - 298) - 10^{-3}r(526 - 298) - 10'7(573 - 298)$$

$$1627 = 68'95r + 2439'6 - 0'228r - 2942'5 \rightarrow \boxed{r = 30'99 \text{ mol/h}}$$

*)

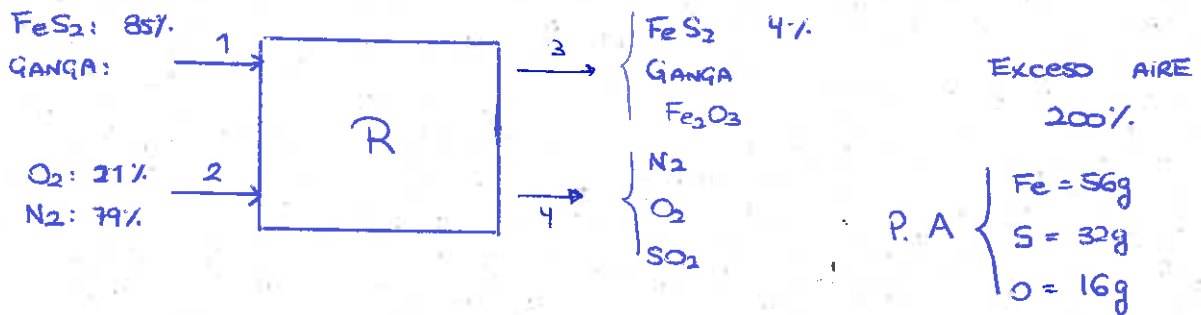
$$E) \quad N_{E^2} = 90 - r = 90 - 30'99 \rightarrow \underline{N_{E^2} = 59 \text{ mol/h}}$$

$$A) \quad N_{A^2} = 10 + r = 10 + 30'99 \rightarrow \underline{N_{A^2} = 40'99 \text{ mol/h}}$$

$$H_2) \quad N_{H_2^2} = r \rightarrow \underline{N_{H_2^2} = 30'99 \text{ mol/h}}$$

$$\text{Conv.} = \frac{N_{E^1} - N_{E^2}}{N_{E^1}} \cdot 100 = \frac{90 - 59}{90} \cdot 100 \rightarrow \boxed{\% \text{ Conv.} = 34'4\%}$$

EJERCICIO 19



ANÁLISIS GRADOS DE LIBERTAD

	GLOBAL
CAUDAL.	4
COMPOS.	6
r	1
CAUDAL	-
COMPOS.	3
EC. BALAN.	6
RELAC.	1
CONV.	-
	4

GL = 1 → Suponemos una base de cálculo.

$$F^1 = 100 \text{ kg/h}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F^1 (\text{FeS}_2) = 85 \text{ kg/h} \\ F^1 (\text{Ganga}) = 15 \text{ kg/h} \end{array} \right.$$

ECUACIONES POR ELEMENTOS

$$\text{FeS}_2) \quad N_{\text{FeS}_2}^3 = N_{\text{FeS}_2}^4 - 4r = \frac{85}{120} - 4r = 85 - 480r = F_{\text{FeS}_2}^3$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3) \quad N_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^3 = 2r$$

$$\text{O}_2) \quad N_{\text{O}_2}^4 = N_{\text{O}_2}^2 - 11r = \frac{5'84}{11} - 11r$$

$$\text{SO}_2) \quad N_{\text{SO}_2}^4 = 8r$$

$$\text{N}_2) \quad N_{\text{N}_2}^4 = N_{\text{N}_2}^2 = 21'98 \text{ mol/h}$$

$$\text{GANGA}) \quad F_{\text{GANGA}}^3 = F_{\text{GANGA}}^1 = 15 \text{ kg/h}$$

$$\text{FeS}_2 = 56 + 32 \cdot 2 \rightarrow \text{P.M. (FeS}_2) = 120 \text{ g/mol}$$

$$85 \text{ kg FeS}_2 \cdot \frac{1 \text{ kmol}}{120 \text{ kg}} = \underline{\underline{0'708 \text{ kmol/h FeS}_2}}$$

$$0'708 \text{ kmol FeS}_2 \cdot \frac{11 \text{ kmol O}_2}{4 \text{ kmol FeS}_2} \rightarrow \underline{\underline{N_{\text{O}_2 \text{ ESTEQ}} = 1'95 \text{ kmol/h}}}$$

$$\left. \begin{array}{l} N_{\text{O}_2}^2 = N_{\text{O}_2 \text{ ESTEQ}} \cdot 3 = 1'95 \cdot 3 \rightarrow \underline{\underline{N_{\text{O}_2}^2 = 5'84 \text{ kmol/h}}} \\ N_{\text{N}_2}^2 = 5'84 \text{ kmol O}_2 \cdot \frac{0'79}{0'21} \rightarrow \underline{\underline{N_{\text{N}_2}^2 = 21'98 \text{ kmol/h}}} \end{array} \right\} \text{Exc. 200\%}$$

$$\text{P.M. (Fe}_2\text{O}_3) = 56 \cdot 2 + 16 \cdot 3 = 160 \text{ g/mol}$$

$$F_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^3 = 160 \cdot N_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^3 = 160 \cdot 2r \rightarrow \underline{\underline{F_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^3 = 320r}}$$

$$F^3 = [(85 - 480r) + 320r + 15]$$

$$F_{\text{FeS}_2}^3 = 0'04 \cdot F^3 = 0'04 [(85 - 480r) + 320r + 15] = 3'4 - 19'2r + 12'8r + 0'6$$

$$85 - 480r = 4 - 6'4r \rightarrow \boxed{r = 0'171 \text{ kmol/h}}$$

$$N_{\text{FeS}_2}^3 = \frac{85}{120} - 4r = \frac{85}{120} - 4(0.171) \rightarrow \underline{N_{\text{FeS}_2}^3 = 0.024 \text{ kmol/h}}$$

$$N_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^3 = 2r = 2 \cdot 0.171 \rightarrow \underline{N_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^3 = 0.342 \text{ kmol/h}}$$

$$N_{\text{O}_2}^4 = 5.84 - 11r = 5.84 - 11 \cdot 0.171 \rightarrow \underline{N_{\text{O}_2}^4 = 3.959 \text{ kmol/h}}$$

$$N_{\text{SO}_2}^4 = 8r = 8 \cdot 0.171 \rightarrow \underline{N_{\text{SO}_2}^4 = 1.368 \text{ kmol/h}}$$

Estos valores los hemos calculado para una base de cálculo de 100 kg/h pero a nosotros nos piden por 1 kg/h.

$$100 \text{ kg} \quad \text{---} \quad r = 0.171 \text{ kmol/h}$$

$$1 \text{ kg} \quad \text{---} \quad \underline{r_a = 1.71 \cdot 10^{-3} \text{ kmol/h} = 1.71 \text{ mol/h}}$$

$$N_{\text{FeS}_2}^3 = 0.024 \text{ kmol} \cdot \frac{1000 \text{ mol}}{1 \text{ kmol}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{100 \text{ kg}} \rightarrow \underline{N_{\text{FeS}_2}^3 = 0.24 \text{ mol/h}} \text{ por kg de mat.}$$

$$\underline{N_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^3 = 3.42 \text{ mol/h}} \text{ por kg de material}$$

$$\underline{N_{\text{O}_2}^4 = 39.59 \text{ mol/h}} \quad "$$

$$\underline{N_{\text{SO}_2}^4 = 13.68 \text{ mol/h}} \quad "$$

$$\underline{N_{\text{FeS}_2}^4 = 7.08 \text{ mol/h}} \quad "$$

$$\underline{N_{\text{O}_2}^2 = 58.4 \text{ mol/h}} \quad "$$

$$\underline{N_{\text{N}_2}^1 = 219.8 \text{ mol/h}} \quad "$$

$$\Delta H_r = (\sum \Delta H_f)_{\text{prod}} - (\sum \Delta H_f)_{\text{react}} =$$

$$= (0.24(-42.52) + 3.42(-196.5) + 13.68(-70.96)) - (7.08(-42.52))$$

$$\boxed{\Delta H_r = -1351.93 \text{ Kcal/kg material}}$$

EJERCICIO 20



$$Q = 0$$

$$\Delta H_r^{298} = 68'95 \text{ KJ/mol}$$

$$X_E = 0'3$$



ANÁLISIS GRADOS DE LIBERTAD

	GLOBAL
CAUDAL.	2
COMPOSIC.	2
r	1
<hr/>	
CAUDAL.	-
COMPOSIC.	-
EC BALAN	3
CONVER.	1
RELAC.	-
<hr/>	
	1

BASE DE CÁLCULO:

$$N^1 = 100 \text{ mol/h}$$

ECUACIONES POR ELEMENTOS:

$$E) \quad N_E^2 = N_E^1 - r = 100 - 30 \rightarrow \underline{N_E^2 = 70 \text{ mol/h}}$$

$$A) \quad N_A^2 = r \rightarrow \underline{N_A^2 = 30 \text{ mol/h}}$$

$$H_2) \quad N_{H_2}^2 = r \rightarrow \underline{N_{H_2}^2 = 30 \text{ mol/h}}$$

Usando la conversión:

$$0'3 = \frac{N_E^1 - N_E^2}{N_E^1} = \frac{r}{100} \rightarrow \boxed{r = 30 \text{ mol/h}}$$

$$Q = r \Delta H_r + \underbrace{\int_{T_{ref}}^T \sum N_i C_p dT}_{\text{SALIDA}} - \underbrace{\int_{T_{ref}}^T \sum N_i C_p dT}_{\text{ENTRADA}}$$

$$(T_{REF} = 573 \text{ K})$$

$$\Delta H_r(573) = \Delta H_r(298) + \int_{298}^{573} \sum d_i C_p dT =$$

$$= 68'95 + \int_{298}^{573} (0'029 + 0'08) - (0'11) dT \rightarrow \underline{\underline{\Delta H_r(573) = 68'675 \text{ KJ/mol}}}$$

$$0 = 30 \cdot 68'675 + \int_{573}^T \sum N_i C_p dT - \int_{573}^T \sum N_i C_p dT$$

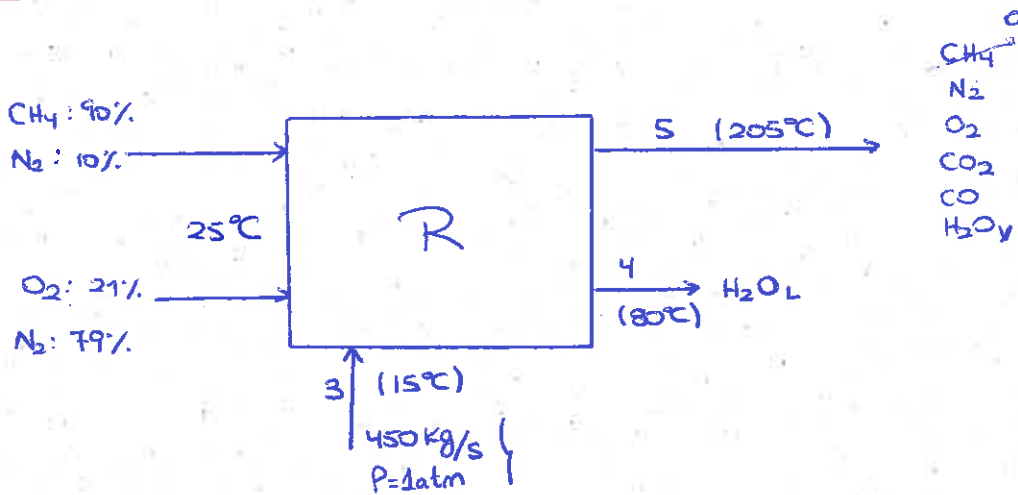
$$\sum N_i C_p \begin{cases} E) 70 \cdot 0'110 \\ A) 30 \cdot 0'08 \\ H_2) 30 \cdot 0'029 \end{cases}$$

$$10'97$$

$$0 = 30 \cdot 68'675 + \int_{573}^T 10'97 dT \rightarrow 0 = 2060'25 + 10'97 (T - 573)$$

$$\Rightarrow -2060'25 + 10'97 \cdot 573 = 10'97 T \rightarrow \boxed{T = 385'19 \text{ K} = 112'19^\circ\text{C}}$$

EJERCICIO 21



Exc. 20%
AIR

Selectividad = 55%
Q = 0

$$\Delta H_{vap}(H_2O)_{298} = 10'52 \text{ Kcal/mol}$$

$$\text{SELECTIVIDAD} = \frac{\text{PRODUCTO DESEADO}}{\text{PRODUCTO NO DESEADO}}$$



GLOBAL

CAUDAL.

COMPOS.

r

CAUDAL.

COMPOS.

EC. BALAN.

CONVER.

RELAC.