

Problemes resolts
de temàtica
mediambiental
en l'àmbit
de la química

QUI-1

Quan s'obté energia a partir dels combustibles fòssils: petroli, gas natural i carbó, s'emet a l'atmosfera diòxid de carboni (entre d'altres contaminants), un dels principals gasos amb efecte d'hivernacle.

El diòxid de carboni, el podem eliminar del gas sortint fent-lo passar per una solució depuradora, que té aproximadament un 2% de NaOH. Per tal de determinar el grau fins al qual s'ha utilitzat el NaOH, agafem una mostra de la solució depuradora i la valorem. Una alíquota de 25,0 ml de la solució de sosa parcialment gastada necessita 30,0 ml de HCl 0,300 N per a la titulació al punt final amb fenolftaleïna. Una altra alíquota de la mateixa solució en necessita 48,0 ml per al punt final amb taronja de metil. Quin és el percentatge de NaOH de la solució depuradora que s'ha consumit?

SOLUCIÓ

El diòxid de carboni reacciona amb la sosa de la solució depuradora i s'obté carbonat de sodi. Per tant, en la mostra que agafem, tindrem una mescla de NaOH i Na_2CO_3 .

Amb la fenolftaleïna: $V_1 = 30$ ml HCl 0,300 N, aquest volum d'àcid es consumeix per neutralitzar el NaOH i per passar de carbonat a hidrogencarbonat.

Amb el taronja de metil: $V_{\text{total}} = 48$ ml HCl 0,300 N, aquest volum d'àcid es consumeix per neutralitzar el NaOH i per passar de carbonat a àcid carbònic.

$V_2 = V_{\text{total}} - V_1 = 48 - 30 = 18$ ml HCl 0,300 N, aquest volum d'àcid serà doncs el necessari per passar d'hidrogencarbonat a àcid carbònic.

Segons això, per al NaOH s'han consumit: $V_1 - V_2 = 30 - 18 = 12$ ml HCl 0,300 N

I per al Na_2CO_3 s'han consumit: $2V_2 = 2 \times 18 = 36$ ml HCl 0,300 N (es necessiten els mateixos equivalents d'àcid per passar d'hidrogencarbonat a àcid carbònic, que per passar de carbonat a hidrogencarbonat).

Els equivalents d'àcid consumits per al NaOH són: $12 \times 10^{-3} \times 0,3$ eq HCl. Com que tota reacció té lloc equivalent a equivalent, els equivalents de NaOH també seran $12 \times 10^{-3} \times 0,3$. Pel mateix raonament, els equivalents de carbonat de sodi seran $36 \times 10^{-3} \times 0,3$.

$$12 \times 10^{-3} \times 0,3 \text{ eq NaOH} \frac{1 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ eq NaOH}} \frac{40 \text{ g NaOH}}{1 \text{ mol NaOH}} = 0,144 \text{ g NaOH que no s'han consumit}$$

$$36 \times 10^{-3} \times 0,3 \text{ eq Na}_2\text{CO}_3 \frac{1 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3}{2 \text{ eq Na}_2\text{CO}_3} \frac{105,99 \text{ g Na}_2\text{CO}_3}{1 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3} = 0,5723 \text{ g Na}_2\text{CO}_3$$

obtinguts a partir de CO_2 i NaOH

$$0,573\text{gNa}_2\text{CO}_3 \frac{1\text{molNa}_2\text{CO}_3}{105,99\text{gNa}_2\text{CO}_3} \frac{2\text{molsNaOH}}{1\text{molNa}_2\text{CO}_3} \frac{40\text{gNaOH}}{1\text{molNaOH}} = 0,4320 \text{ g NaOH}$$

transformats

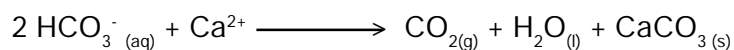
$$\% \text{ NaOH transformats} = \frac{0,4320}{0,4320+0,144} \times 100 = \underline{75\% \text{ NaOH consumit}}$$

QUI-2

La duresa total és una expressió del contingut global de sals alcalinotèrries d'una aigua, que són les responsables dels problemes d'incrustacions en calderes i canonades. Una part d'aquestes sals, les alcalinotèrries hidrogencarbonatades (duresa temporal), precipiten per ebullició.

Quan bullim una mostra d'aigua, el calci i l'hidrogencarbonat reaccionen. Escriu la reacció que té lloc. Quina quantitat de carbonat de calci es formarà quan bullim 1 l d'aquesta aigua que conté 49 mg/l d'ió calci i 157 mg/l d'ió hidrogencarbonat?

SOLUCIÓ



$$1 \text{ l H}_2\text{O} \frac{49 \text{ mg Ca}^{2+}}{1 \text{ l H}_2\text{O}} \frac{1 \text{ mmol Ca}^{2+}}{40,08 \text{ mg Ca}^{2+}} \frac{1 \text{ mmol CaCO}_3}{1 \text{ mmol Ca}^{2+}} \frac{100,09 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ mmol CaCO}_3} =$$
$$= 122,37 \text{ mg CaCO}_3$$

$$1 \text{ l H}_2\text{O} \frac{157 \text{ mg HCO}_3^-}{1 \text{ l H}_2\text{O}} \frac{1 \text{ mmol HCO}_3^-}{61,017 \text{ mg HCO}_3^-} \frac{1 \text{ mmol CaCO}_3}{2 \text{ mmol HCO}_3^-} \frac{100,09 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ mmol CaCO}_3} =$$
$$= 128,77 \text{ mg CaCO}_3$$

El procés està limitat pel Ca^{2+} ; per tant, la quantitat de CaCO_3 que es formarà és de 122,37 mg.

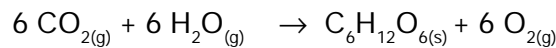
QUI-3

En la fotosíntesi, les plantes verdes sintetitzen matèria orgànica (expresseu-la com a glucosa) a partir del diòxid de carboni i l'aigua, a més de l'energia solar. Escriviu la reacció del procés. Calculeu la variació d'energia lliure en condicions estàndard, si les energies lliures estàndard de formació del $\text{CO}_{2(g)}$, $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ i glucosa són, respectivament: -394,38 ; -237,19 i -910,56 kJ/mol.

En quin sentit evolucionarà l'equilibri si:

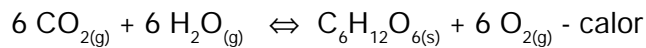
- a) disminueix la temperatura
- b) disminueix la pressió total
- c) augmenta la concentració de CO_2
- d) s'afegeix un catalitzador (enzim)

SOLUCIÓ



$$\begin{aligned} \Delta G^\circ \text{ fotosíntesi} &= \sum \Delta G^\circ \text{ productes} - \sum \Delta G^\circ \text{ reactius} = \\ &= (-910,56) - 6 (-394,38 - 237,19) = 2.878,86 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Aquesta reacció no és espontània; per això és necessària l'energia en forma de llum que prové del sol.



- a) Cap a l'esquerra. S'allibera CO_2 .
- b) No afecta l'equilibri.
- c) Cap a la dreta. S'afavoreix la formació de glucosa.
- d) No afecta l'equilibri.

QUI-4

Quina quantitat de biogàs (en m³) produiria diàriament la digestió anaeròbia de les restes de menjar i els excrements dels habitants de la ciutat de Manresa (65.000 habitants), sabent que:

- producció de restes de menjar i cuina = 0,39 kg/hab×dia
- producció d'excrements = 0,17 kg/hab×dia
- producció de biogàs d'una planta de digestió de residus urbans (sòlids i líquids) = 110 m³ biogàs/tona residus
- poder calorífic del biogàs = 23 MJ/m³

Quin serà el seu equivalent energètic anual (expresseu-ho en les unitats més adients)?

Quin percentatge en energia representa això respecte al consum energètic anual de la ciutat de Manresa en butà/propà, que és de 2.025 tones (poder calorífic 11.800 kcal/kg)?

SOLUCIÓ

A partir de les dades de producció i el nombre d'habitants calculem les tones/dia i obtenim: 25,35 tones/dia (de les restes de menjar i cuina) i 11,05 tones/dia (dels excrements). En total, 36,4 tones/dia.

$$\frac{36,4 \text{ tones residus}}{\text{dia}} \times \frac{110 \text{ m}^3 \text{ biogàs}}{1 \text{ tona residus}} = 4.004 \text{ m}^3 \text{ biogàs/dia}$$

Si obtenim 4.004 m³ de biogàs per dia, amb poder calorífic de 23MJ/m³, tindrem 92.092 MJ/dia, i per 365 dies: 33.613.580 MJ/any.

Canviant les unitats: 33,61 TJ/any

$$\frac{2.025 \text{ tones}}{\text{any}} \times \frac{10^3 \text{ kg}}{1 \text{ tona}} \times \frac{11.800 \text{ kcal}}{1 \text{ kg}} \times \frac{4,186 \cdot 10^3 \text{ J}}{1 \text{ kcal}} \times \frac{1 \text{ TJ}}{10^{12} \text{ J}} = 100,02 \text{ TJ/any}$$

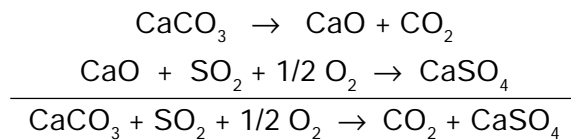
$$\frac{33,61 \text{ TJ/any biogàs}}{100,02 \text{ TJ/any propà/butà}} \times 100 = 33,60\%$$

QUI-5

Una central elèctrica crema carbó amb un 0,28% en pes de sofre (considerem que no té impureses). En cremar una tona de carbó, quant SO_2 es produeix?

Per eliminar aquest SO_2 dels gasos de sortida emesos, quina quantitat de CaCO_3 necessitem (considerem un rendiment del 80%)? En aquest procés, quina quantitat de CO_2 i de CaSO_4 es genera?

SOLUCIÓ



$$1 \text{ tonadecarbó} \frac{0,28 \text{ tones S}}{100 \text{ tones carbó}} \frac{10^6 \text{ g S}}{1 \text{ tona S}} \frac{1 \text{ mol S}}{32,064 \text{ g S}} \frac{1 \text{ mol SO}_2}{1 \text{ mol S}} = 87,33 \text{ mols SO}_2$$

$$1 \text{ mol de SO}_2 \text{ són } 64,06 \text{ g SO}_2 \Rightarrow 5,59 \text{ kg SO}_2$$

$$87,33 \text{ mols SO}_2 \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{0,8 \text{ mols SO}_2} \frac{100,09 \text{ g CaCO}_3}{1 \text{ mol CaCO}_3} \frac{1 \text{ kg CaCO}_3}{10^3 \text{ g CaCO}_3} = \underline{10,93 \text{ kg CaCO}_3}$$

Seguint el mateix procediment pel CO_2 i el CaSO_4 obtenim:

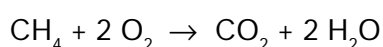
$$4,80 \text{ kg CO}_2 \text{ i } 14,86 \text{ kg CaSO}_4$$

Per eliminar 5,59 kg de SO_2 , emetem 4,80 kg de CO_2 i generem un residu (subproducte) de 14,86 kg de CaSO_4 !!

QUI-6

En els darrers anys el constant augment de les emissions de CO₂ a l'atmosfera produeix una alteració de l'efecte d'hivernacle, problema que s'ha debatut en diferents cimeres internacionals (Rio, Kyoto, Buenos Aires ...). A l'atmosfera, una quantitat elevada de CO₂ és un problema, però a l'interior d'un hivernacle, si el contingut de CO₂ no és prou gran, pot limitar el procés de la fotosíntesi. En un hivernacle de 25.000 m³ amb 350 ppm de CO₂, quina quantitat de metà cal cremar per assolir un nivell de CO₂ de 2.000 ppm, a una temperatura de 25° C?

SOLUCIÓ



La diferència entre el nivell de CO₂ que s'ha d'assolir i el nivell actual, ens donarà el que cal incorporar cremant metà:

$$2.000 - 350 = 1.650 \text{ ppm CO}_2 \equiv 1.650 \text{ ml CO}_2/\text{m}^3$$

Multiplicant aquest valor pel volum de l'hivernacle tenim la quantitat de CO₂ necessària per a la fotosíntesi: 41.250 l CO₂

Aplicant l'equació d'estat dels gasos ideals: $P \times V = n \times R \times T$

$$n = \frac{1 \times 41.250}{0,082 \times 298} = 1.688,08 \text{ mols CO}_2$$

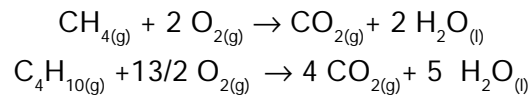
Per estequiometria calculem els kg de metà que cal cremar per obtenir aquests mols de CO₂:

$$1.688,08 \text{ mols CO}_2 \frac{1 \text{ mol CH}_4}{1 \text{ mol CO}_2} \frac{16 \text{ g CH}_4}{1 \text{ mol CH}_4} \frac{1 \text{ kg CH}_4}{10^3 \text{ g CH}_4} = 27,01 \text{ kg CH}_4$$

QUI-7

Les entalpies estàndard de formació dels $\text{CH}_{4(g)}$, $\text{C}_4\text{H}_{10(g)}$, $\text{CO}_{2(g)}$ i $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ són, respectivament: -74,8; -126,2; -393,1 i -285,7 kJ/mol. Calculeu les entalpies estàndard de combustió del metà i del butà. Quina serà la calor despresada en cremar 1 m³ de metà? I de butà? Quant CO_2 es desprèn en cada cas? Compareu els resultats obtinguts.

SOLUCIÓ



Per calcular les entalpies estàndard de combustió, apliquem:

$$\Delta H_c^\circ = \sum \Delta H_f^\circ \text{ productes} - \sum \Delta H_f^\circ \text{ reactius}$$

$$\Delta H_c^\circ (\text{CH}_4) = [-393,1 + 2(-285,7)] - (-74,8) = \underline{-889,7 \text{ kJ/mol}}$$

$$\Delta H_c^\circ (\text{C}_4\text{H}_{10}) = [4(-393,1) + 5(-285,7)] - (-126,2) = \underline{-2.874,7 \text{ kJ/mol}}$$

A partir de l'equació d'estat dels gasos ideals, trobem que en aquestes condicions 1 mol de gas ocupa 24,44 l.

Segons això, en 1 m³ de gas hi ha 40,92 mols.

Aplicant les entalpies estàndard de combustió que hem trobat abans:

$$\text{per al metà} \Rightarrow -36.406,52 \text{ kJ}$$

$$\text{per al butà} \Rightarrow -117.632,72 \text{ kJ}$$

$$40,92 \text{ mols CH}_4 \frac{1 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol CH}_4} \frac{44,01 \text{ g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \frac{1 \text{ kg CO}_2}{10^3 \text{ g CO}_2} = \underline{1,80 \text{ kg CO}_2}$$

$$40,92 \text{ mols C}_4\text{H}_{10} \frac{4 \text{ mols CO}_2}{1 \text{ mol C}_4\text{H}_{10}} \frac{44,01 \text{ g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \frac{1 \text{ kg CO}_2}{10^3 \text{ g CO}_2} = \underline{7,20 \text{ kg CO}_2}$$

En cremar 1 m³ de butà obtenim 3,23 vegades més d'energia que amb 1 m³ de metà, però també generem 4 vegades més de CO_2 .

QUI-8

El plom és un metall pesant d'elevada toxicitat, que pot estar present en un riu per una contaminació d'origen antropogènic. Si el pH de l'aigua d'un riu és de 7, quina serà la concentració màxima d'ió plom (en ppm)? $K_s \text{Pb(OH)}_2 = 1,4 \times 10^{-20}$

Si en aquest riu es produeix un abocament d'un detergent que conté NTA (nitriltriacetat), el plom continuarà estant majoritàriament precipitat en els llots?

Nota: El NTA es troba en la solució en forma de HNtA^{2-}
 $\text{HNtA}^{2-} + \text{Pb}^{2+} \rightleftharpoons \text{PbNtA}^- + \text{H}^+ \quad K_f = 12,86$

SOLUCIÓ

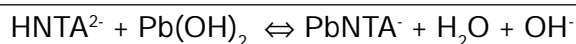
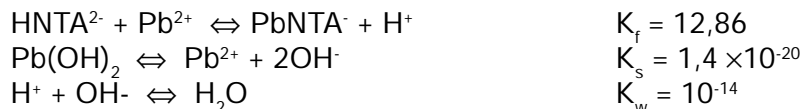
Es presenta l'equilibri de precipitació següent: $\text{Pb(OH)}_2 \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2 \text{OH}^-$

$$K_s = 1,4 \times 10^{-20} = [\text{Pb}^{2+}] \times [\text{OH}^-]^2$$

A pH = 7 $[\text{OH}^-] = [\text{H}^+] = 10^{-7}$

Per tant, $[\text{Pb}^{2+}]$ serà $1,4 \times 10^{-6} \text{ M}$

$$\frac{1,4 \times 10^{-6} \text{ mols Pb}^{2+}}{\text{l}} \cdot \frac{207,19 \text{ g Pb}^{2+}}{1 \text{ mol Pb}^{2+}} \cdot \frac{10^3 \text{ mg Pb}^{2+}}{1 \text{ g Pb}^{2+}} = 0,29 \text{ mg Pb}^{2+} / \text{l} \equiv \underline{0,29 \text{ ppm Pb}^{2+}}$$



El valor de la constant d'equilibri d'aquesta reacció serà doncs:

$$k = \frac{12,86 \times 1,4 \cdot 10^{-20}}{10^{-14}} = 1,8 \cdot 10^{-5} = \frac{[\text{PbNtA}^-][\text{OH}^-]}{[\text{HNtA}^{2-}]}$$

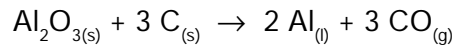
A pH = 7 $[\text{OH}^-] = 10^{-7}$

Així doncs: $[\text{PbNtA}^-] / [\text{HNtA}^{2-}] = 180$

El plom estarà majoritàriament complexat: passarà dels llots a l'aigua del riu. Aquesta variació provocarà un augment de la concentració d'ió plom a l'aigua.

QUI-9

La producció d'alumini a partir de la bauxita pel procés Hall es pot representar globalment per la reacció:



a 1.000° C de temperatura, amb $\Delta H^\circ = 1.340 \text{ kJ}$ i $\Delta S^\circ = 586 \text{ J/K}$. Quanta energia es necessita per produir un mol d'alumini?

Per reciclar les llaunes d'alumini, cal portar-les a 660° C (punt de fusió), si la calor específica i la calor de fusió de l'alumini són respectivament: $0,900 \text{ J/g} \times ^\circ\text{C}$ i $10,7 \text{ kJ/mol}$, quina serà l'energia necessària per reciclar un mol d'alumini?

Compareu-ne els resultats.

SOLUCIÓ

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \times \Delta S^\circ$$

$$\Delta G^\circ = 1.340 \text{ kJ} - 1.273 \text{ K} \times (586 \times 10^{-3} \text{ kJ K}^{-1}) = 594,02 \text{ kJ}$$

Per tant, per produir un mol d'alumini: $594,02/2 = 297,01 \text{ kJ}$

En el reciclatge, la quantitat de calor que necessitem per escalfar un mol d'alumini de 20° C a 660° C és:

$$Q = M \times \rho \times \Delta t = 26,98 \times 0,900 \times (660-20) = 15.540,48 \text{ J} \equiv 15,54 \text{ kJ}$$

A aquesta quantitat, cal afegir-hi la calor de fusió: $15,54 + 10,7 = 26,24 \text{ kJ}$

$$297,01/26,24 = 11,32$$

Es necessiten 11,32 vegades més d'energia per produir un mol d'alumini pel procés Hall que per reciclar-ne un mol a partir de llaunes.

Amb el reciclatge podríem arribar a estalviar aproximadament un 91% de l'energia que es necessita per produir alumini nou a partir de la bauxita.

QUI-10

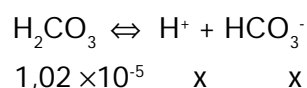
Un dels problemes ambientals amb implicacions econòmiques més importants, pels seus efectes sobre els ecosistemes aquàtics i forestals, és la pluja àcida. Es considera que aquesta es produeix a $\text{pH} < 5,6$, ja que la pluja té un $\text{pH} < 7$ per la presència del CO_2 atmosfèric.

Si la K_H per la dissolució del CO_2 en aigua a 25°C és $29,41 \text{ atm} \times \text{l} \times \text{mol}^{-1}$ i la pressió parcial del CO_2 a l'atmosfera és $3 \times 10^{-4} \text{ atm}$, quina és la concentració de CO_2 en equilibri (en ppm)? Quin serà el pH de l'aigua de pluja?

SOLUCIÓ

$$[\text{CO}_2] = \frac{P_{\text{CO}_2}}{K_H} = \frac{3 \times 10^{-4} \text{ atm}}{29,41 \text{ atm} \times \text{l} \times \text{mol}^{-1}} = 1,02 \times 10^{-5} \text{ M}$$

$$\frac{1,02 \times 10^{-5} \text{ mols CO}_2}{\text{l}} \frac{44,01 \text{ g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \frac{10^3 \text{ mg CO}_2}{1 \text{ g CO}_2} = 0,45 \text{ mg CO}_2/\text{l} \equiv \underline{0,45 \text{ ppm}}$$



$$K_a = 4,2 \times 10^{-7} = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = \frac{x^2}{1,02 \times 10^{-5}}$$

$$x = [\text{H}^+] = 2,07 \times 10^{-6} \text{ M}$$

Per tant, el pH és 5,68

