

**PROBLEMA 3.** Una muestra de 500 mg de un ácido monoprótico fuerte (HA) disuelto en agua se neutralizó con 33,16 mL de disolución 0,15 M de KOH. Calcula:

a) La masa molar del ácido.

b) El pH resultante cuando al ácido inicial se hubieran añadido 40 mL de la base, suponiendo un volumen final de 50 mL.

Solución:

a) La reacción de neutralización es:  $\text{HA} + \text{KOH} \rightarrow \text{KA} + \text{H}_2\text{O}$

Al ser la estequiometría de la reacción 1 a 1 los moles de ácido y base son los mismos e igual a:  
Moles de base:  $n(\text{KOH}) = M \cdot V = 0,15 \text{ moles} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 0,03316 \text{ L} = 0,005 \text{ moles}$ , que son los moles de ácido, cuya masa molar es:  $0,005 \text{ moles} = \frac{0,5 \text{ g}}{\text{masa molar } M}$ , siendo  $M = \frac{0,5 \text{ g}}{0,005 \text{ moles}} = 100 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

b) La concentración inicial del ácido es:  $[\text{HA}] = \frac{\text{moles}}{\text{volumen}} = \frac{0,005 \text{ moles}}{0,5 \text{ L}} = 0,01 \text{ M}$ .

Si el volumen de la nueva disolución que se forma es 0,050 L, ello indica que de ácido se toma un volumen de 10 mL, siendo los moles de cada sustancia utilizada en esta neutralización:

Moles de ácido:  $n(\text{HA}) = M \cdot V = 0,01 \text{ moles} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 0,01 \text{ L} = 0,0001 \text{ moles}$ .

Los moles de base  $n'(\text{KOH}) = M' \cdot V' = 0,15 \text{ moles} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 0,04 \text{ L} = 0,006 \text{ moles}$ .

Hay un exceso de base de 0,0059 moles, que al encontrarse disueltos en un volumen total de 0,050 L, proporciona a la disolución un pH básico.

La concentración de KOH en la disolución es:

$[\text{KOH}] = \frac{0,0059 \text{ moles}}{0,05 \text{ L}} = 0,12 \text{ M}$ , que es la concentración de iones hidróxidos,  $\text{OH}^-$ , por ser la

base muy fuerte y encontrarse completamente ionizada, siendo el pOH de la disolución:

$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - \log [\text{OH}^-] = 14 - \log 0,12 = 14 - 0,92 = 13,08$ .

**Resultado: a)  $100 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ; b)  $\text{pH} = 13,08$ .**

**CUESTIÓN 4.** El magnesio se obtiene industrialmente por electrólisis del cloruro de magnesio ( $\text{MgCl}_2$ ) fundido a la temperatura de 750 °C. Escribe las reacciones que tienen lugar en cada electrodo y calcula:

a) La masa de magnesio, en kg, que se obtiene cuando pasa una corriente de 2000 A a través de la celda electrolítica durante 10 horas.

b) La masa del gas  $\text{Cl}_2$ , en kg, desprendido en la celda anterior.

Solución:

Las reacciones que se producen en los electrodos son:

Cátodo:  $\text{Mg}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Mg}$

Ánodo:  $2\text{Cl}^- - 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Cl}_2$   
 $\text{Mg}^{2+} + 2 \text{Cl}^- \rightarrow \text{Mg} + \text{Cl}_2$

a) La masa de magnesio es:  $m = \frac{M \cdot I \cdot t}{n \cdot F} = \frac{24,3 \text{ g} \cdot 2.000 \text{ A} \cdot 36.000 \text{ s}}{2 \cdot 96.500 \text{ A} \cdot \text{s}} = 9.065,3 \text{ g} = 9,065 \text{ kg}$ .

b) La masa de gas cloro que se desprende en el ánodo es:

$m = \frac{M \cdot I \cdot t}{z \cdot F} = \frac{71 \text{ g} \cdot 2.000 \text{ A} \cdot 36.000 \text{ s}}{2 \cdot 96.500 \text{ A} \cdot \text{s}} = 26.487,0 \text{ g} = 26,487 \text{ kg}$ .

**Resultado: a) masa de Mg = 9.065,3 g = 9,065 Kg; b) masa de  $\text{Cl}_2$  = 26.487 g = 26,487 Kg.**

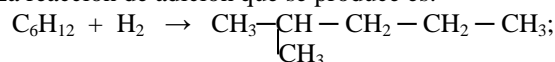
**CUESTIÓN 5.** Responde las siguientes cuestiones:

a) Escribe las fórmulas estructurales y nombra los cuatro alquenos de fórmula molecular  $\text{C}_6\text{H}_{12}$  que darían como producto el 2-metilpentano por adición de hidrógeno.

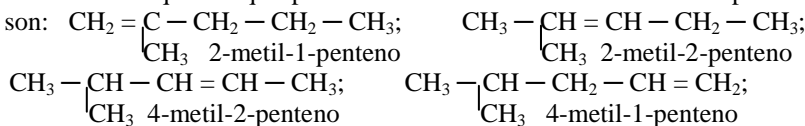
b) Define reacción de sustitución y reacción de eliminación. Pon un ejemplo de cada una de ellas nombrando todos los compuestos que intervienen.

Solución:

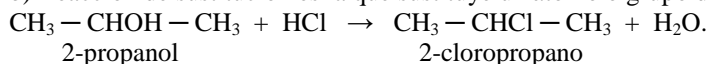
a) La reacción de adición que se produce es:



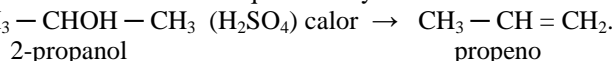
Los cuatro alquenos que por adición al doble enlace dan el compuesto saturado del apartado anterior son:



b) Reacción de sustitución es la que sustituye un átomo o grupo de átomo por otro u otros.



Reacción de eliminación es la que sustituye en la molécula un átomo o grupo funcional por otro distinto.



### CUESTIÓN 6. En relación con los compuestos iónicos:

a) Define el concepto de energía reticular.

b) Establece un ciclo de Born-Haber para obtener NaCl (s) a partir de Na (s) y Cl<sub>2</sub> (g).

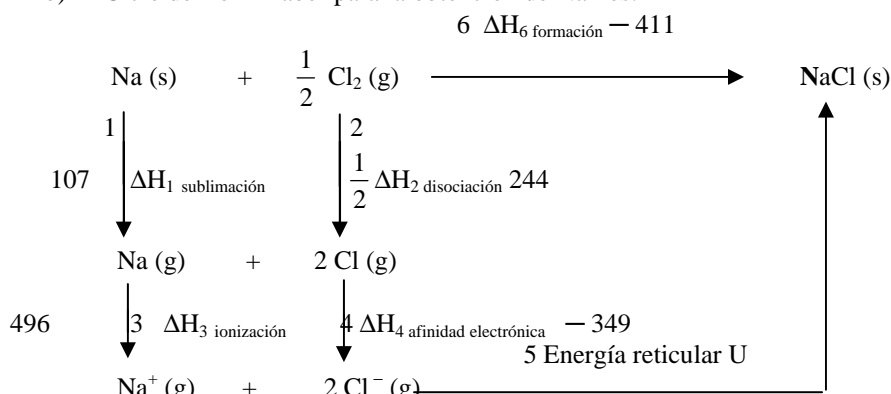
Sabiendo que la del cloruro sódico sólido es igual - 411 kJ · mol<sup>-1</sup>, calcula su energía reticular,

DATOS: ΔH<sup>o</sup><sub>sublimación</sub> Na(s) = +107 kJ · mol<sup>-1</sup>; ΔH<sup>o</sup><sub>disociación</sub> Cl<sub>2</sub>(g) = +244 kJ · mol<sup>-1</sup>; ΔH<sup>o</sup><sub>ionización</sub> Na(s) = +496 kJ · mol<sup>-1</sup>; ΔH<sup>o</sup><sub>afinidad electrónica</sub> Cl(g) = -349 kJ · mol<sup>-1</sup>.

Solución:

a) Energía reticular es la que se desprende al formarse un mol de cristal iónico a partir de sus componentes en estado fundamental.

b) El Ciclo de Born-Haber para la obtención de NaF es:



b) La energía reticular o de red se obtiene despejándola de la ecuación:

$$\Delta H_{\text{f}} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + U \Rightarrow U = \Delta H_{\text{f}} - (\Delta H_1 + \frac{1}{2} \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4)$$

$$U = -411 - 107 - \frac{1}{2} \cdot 244 - 496 - (-349) = -787 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

**Resultado: b) U = - 787 kJ · mol<sup>-1</sup>.**

**PROBLEMA 7.** Para el siguiente proceso a 686 °C: CO<sub>2</sub>(g) + H<sub>2</sub>(g) ↔ CO(g) + H<sub>2</sub>O(g), las concentraciones de equilibrio de las sustancias reaccionantes son: [CO<sub>2</sub>] = 0,086 M, [H<sub>2</sub>] 0,045 M, [CO] = 0,50 M y [H<sub>2</sub>O] = 0,04 M.

a) Calcula los valores de K<sub>c</sub> y K<sub>p</sub>.

b) Si la concentración de CO<sub>2</sub> se eleva hasta 0,5 M por adición de CO<sub>2</sub>, ¿cuáles serán las concentraciones de todos los gases cuando se restablezca el equilibrio?

Solución:

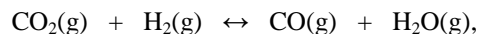
a) Sustituyendo las concentraciones conocidas en la constante de equilibrio  $K_c$  y operando se tiene:  $K_c = \frac{[CO] \cdot [H_2O]}{[CO_2] \cdot [H_2]} = \frac{0,5 M \cdot 0,04 M}{0,086 M \cdot 0,045 M} = 5,17$ .

De la relación entre las constantes de equilibrio  $K_c$  y  $K_p$ , se determina el valor de esta:

$K_p = K_c \cdot (R \cdot T)^{\Delta n}$  donde  $\Delta n$  es la diferencia entre los moles gaseosos de los productos y reactivos,  $\Delta n = 2 - 2 = 0$ , y  $K_p = 5,17 \cdot (0,082 \cdot 959)^0 = 5,17 \cdot 1 = 5,17$ .

b) La adición de  $CO_2$  incrementa su concentración, por lo que, esta sustancia reacciona con el  $H_2$  para formar los productos de reacción, y este es el sentido en el que se desplaza el equilibrio.

Llamando  $x$  a la concentración de  $CO_2$  que reaccionan, la concentración de cada especie en el nuevo equilibrio es:



Concentración en el equilibrio:  $0,5 - x$     $0,045 - x$     $0,5 + x$     $0,04 + x$

Llevando estas concentraciones a la constante de equilibrio  $K_c$  y operando se determina el

valor de  $x$ :  $K_c = \frac{[CO] \cdot [H_2O]}{[CO_2] \cdot [H_2]} = \frac{(0,5 + x) M \cdot (0,04 + x) M}{(0,5 - x) M \cdot (0,045 - x) M} \Rightarrow x^2 + 0,54x + 0,02 = 0$ , que resuelta da para

$x$  el valor correcto  $x = 0,0297 M$ , siendo la concentración de cada especie en el equilibrio:

$[CO_2] = 0,5 - 0,0297 = 0,47 M$ ;    $[H_2] = 0,045 - 0,0297 = 0,015 M$ ;

$[CO] = 0,5 + 0,0297 = 0,53 M$ ;    $[H_2O] = 0,04 + 0,0297 = 0,0697 M$ .

**Resultado:** a)  $K_c = K_p = 5,17$ ; b)  $[CO_2] = 0,47 M$ ;  $[CO] = 0,53 M$ ;  $[H_2] = 0,015 M$ ;  $[H_2O] = 0,0697 M$ .

**CUESTIÓN 8.** El fluoruro de magnesio ( $MgF_2$ ) es una sal muy poco soluble en agua, cuya constante del producto de solubilidad es  $K_{ps} = 8 \cdot 10^{-8}$ . Calcula, justificando cualquier simplificación:

a) La solubilidad del fluoruro de magnesio en moles  $\cdot L^{-1}$ .

b) La solubilidad del fluoruro de magnesio en una disolución  $0,5 M$  de fluoruro de sodio.

Solución:

a) La ecuación de ionización del compuesto es:  $MgF_2(s) \leftrightarrow Mg^{2+}(aq) + 2 F^{-}(aq)$ .

Si la solubilidad de catión magnesio es  $S$ , la del anión fluoruro es  $2 \cdot S$ .

La expresión de la constante de solubilidad del compuesto es:

$$K_{ps} = [Mg^{2+}] \cdot [F^{-}]^2 = S \cdot (2 \cdot S)^2 = 4 \cdot S^3, \text{ de donde, } S = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot 10^{-8}}{4}} = 2,71 \cdot 10^{-3} M.$$

b) La sal  $NaF$  se encuentra en disolución totalmente ionizada, por lo que la concentración de  $F^{-}$  en la nueva disolución es la que procede de la adición de la sal  $NaF$ , y por efecto del ión común, el equilibrio se desplaza hacia la izquierda para producir más  $MgF_2$ .

La solubilidad de este compuesto poco soluble es ahora:

$$8 \cdot 10^{-8} = [Mg^{2+}] \cdot [F^{-}]^2 = S \cdot 0,5^2, \text{ de donde, } S = [Mg^{2+}] = \frac{8 \cdot 10^{-8}}{0,5^2} = 3,2 \cdot 10^{-7} M.$$

**Resultado:** a)  $S = 2,71 \cdot 10^{-3} M$ ; b)  $S = 3,2 \cdot 10^{-7} M$ .

**CUESTIÓN 9.** Tenemos dos disoluciones acuosas ácidas, una de ácido salicílico ( $C_6H_4OHCOOH$ ,  $K_a = 10^{-3}$ ) y otra de ácido benzoico ( $C_6H_5COOH$ ,  $K_a = 2 \cdot 10^{-5}$ ). Si la concentración de los dos ácidos es la misma, contesta razonadamente a las siguientes cuestiones:

a) ¿Cuál de las bases conjugadas de los ácidos anteriores es más fuerte? Determina los valores de  $K_b$  para las bases conjugadas de ambos ácidos.

b) ¿Qué ácido presentará un mayor grado de ionización? ¿Qué disolución tendrá mayor valor del pH?

Solución:

a) El ácido y base conjugada de cualquier ácido o la base y ácido conjugado de cualquier base, se encuentran relacionadas por el producto iónico del agua. Por ello, mientras más fuerte sea un ácido, mayor es su  $K_a$ , y más débil su base conjugada, menor es su  $K_b$ .

Luego, al ser la  $K_a$  del ácido salicílico la de mayor valor,  $K_a = 10^{-3}$ , es el ácido más fuerte, y, su base conjugada es la de menor valor, la más débil. En efecto, para el ácido salicílico:

$$K_a \cdot K_b = K_w \rightarrow K_b = \frac{K_w}{K_a} = \frac{10^{-14}}{10^{-3}} = 10^{-11}.$$

$$\text{Para el ácido benzoico: } K_a' \cdot K_b' = K_w \rightarrow K_b' = \frac{K_w}{K_a'} = \frac{10^{-14}}{2 \cdot 10^{-5}} = 5 \cdot 10^{-10}.$$

Se observa que la base conjugada del ácido más débil, el benzoico, es más fuerte que la base conjugada del ácido más fuerte el salicílico.

b) Mientras más fuerte es un ácido mayor es su grado de ionización, por lo que el ácido salicílico es el que se encuentra más ionizado, y al ser mayor la concentración de iones oxonios,  $H_3O^+$ , menor será su pH, mientras que el ácido benzoico, al ser más débil, se encuentra menos ionizado y menor será la concentración de iones oxonios, por lo que será mayor el pH de su disolución.