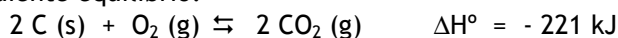


Cuestión 7

Se establece el siguiente equilibrio:



Razone si la concentración de O_2 aumenta, disminuye o permanece invariable:

- Al añadir C (s)
- Al aumentar el volumen del recipiente.
- Al elevar la temperatura.

Solución

a) *Permanece invariable* porque el C(s) está en estado sólido y, mientras que no se retire totalmente del sistema, su cantidad no afecta a la composición en el equilibrio.

b) *Disminuye*. Si aumenta el volumen del sistema disminuye la presión. El sistema evoluciona para alcanzar un nuevo estado de equilibrio contrarrestando dicha disminución, es decir, desplazándose hacia la derecha (aumenta la cantidad de CO_2 y disminuye la cantidad C(s) y de O_2 (g)), porque así aumentan los moles (moléculas) de las especies gaseosas.

c) *Aumenta*. Al elevar la temperatura, el equilibrio se desplaza en el sentido en que la reacción es endotérmica (hacia la izquierda), con lo que aumenta la concentración de O_2 .

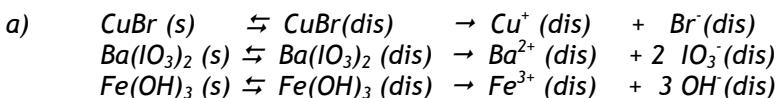
Cuestión 8

Para los compuestos poco solubles CuBr, $\text{Ba}(\text{IO}_3)_2$ y $\text{Fe}(\text{OH})_3$:

- Escriba la ecuación de equilibrio de solubilidad en agua.
- La expresión del producto de solubilidad.
- El valor de la solubilidad en función del producto de solubilidad.

Solución

Son compuestos muy poco solubles en agua, por lo que sólo se disuelve una pequeña fracción de cada uno, disociándose totalmente en sus iones, hasta que la disolución se satura. Se establece entonces un equilibrio entre los iones en la disolución y el sólido sin disolver en el fondo del recipiente.



$$\begin{aligned}
 \text{b)} \quad K_s &= [\text{Cu}^+] \cdot [\text{Br}^-] = s \cdot s \\
 K_s &= [\text{Ba}^{2+}] \cdot [\text{IO}_3^-]^2 = s(2s)^2 \\
 K_s &= [\text{Fe}^{3+}] \cdot [\text{OH}^-]^3 = s(3s)^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c)} \quad s &= K_s^{1/2} \\
 s &= (K_s / 4)^{1/3} \\
 s &= (K_s / 27)^{1/4}
 \end{aligned}$$

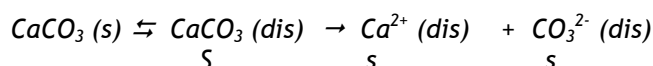
Cuestión 9

Cómo se modificará la solubilidad del carbonato de calcio (sólido blanco insoluble, CaCO_3) si a una disolución saturada de esta sal se le adiciona:

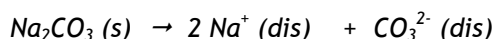
- Carbonato de sodio (Na_2CO_3).
- CaCO_3 .
- Cloruro de calcio.

Solución

El carbonato de calcio es un sólido iónico muy poco soluble en agua que estará en equilibrio con los iones procedentes de una pequeña fracción de la sal que se ha disuelto:



- Disminuyendo.** El carbonato de sodio es soluble en agua y, al añadirlo a la disolución, este se disuelve y se disocia completamente en sus iones, según:



Lo que hace que la concentración de iones carbonato en la disolución aumente, provocando que el equilibrio de solubilidad del carbonato de calcio se desplace hacia la izquierda, de acuerdo con el Principio de Le Chatelier, y, en consecuencia, disminuyendo la solubilidad.

- Permanece inalterable.** Puesto que el carbonato de calcio es un sólido insoluble que se adiciona a una disolución saturada de sus iones, no afecta a la solubilidad del carbonato de calcio.
- Disminuyendo.** El efecto del cloruro de calcio es análogo al que realiza el carbonato de sodio, siendo en este caso el ion calcio el que provoca el efecto de ion común y desplaza el equilibrio hacia la izquierda.

Cuestión 10

Determine si se produce un precipitado (aparición de una fase sólida en el seno de una disolución) cuando se mezclan dos volúmenes iguales de disoluciones 0'0002 M de un catión (ion cargado positivamente) y un anión (ion cargado negativamente) de las siguientes especies:

- a) Ag^+ y Cl^- .
- b) Pb^{2+} y I^- .
- c) Bi^{3+} y S^{2-} .

Datos: $K_s(\text{AgCl}) = 2'8 \cdot 10^{-10}$; $K_s(\text{PbI}_2) = 1,4 \cdot 10^{-8}$; $K_s(\text{Bi}_2\text{S}_3) = 1'5 \cdot 10^{-72}$

Solución

Debe probarse si el producto iónico actual de los iones es mayor, menor o igual al valor de su K_s . Debe tenerse en cuenta que la concentración de cada ion disminuye a la mitad por causa de la dilución.

- a) **Precipita el cloruro de plata.**

$$[\text{Ag}^+]_{\text{actual}} \cdot [\text{Cl}^-]_{\text{actual}} = 0'0001 \cdot 0'0001 = 10^{-8} > K_s(\text{AgCl}) = 2'8 \cdot 10^{-10}$$

- b) **No precipita el ioduro de plomo.**

$$[\text{Pb}^{2+}]_{\text{actual}} \cdot [\text{I}^-]_{\text{actual}}^2 = 0'0001 \cdot 0'0001^2 = 10^{-12} < K_s(\text{PbI}_2) = 1'4 \cdot 10^{-8}$$

- c) **Precipita el sulfuro de bismuto.**

$$[\text{Bi}^{3+}]_{\text{actual}}^2 \cdot [\text{S}^{2-}]_{\text{actual}}^3 = 0'0001^2 \cdot 0'0001^3 = 10^{-20} > K_s(\text{Bi}_2\text{S}_3) = 1'54 \cdot 10^{-72}$$

Cuestión 11

Indique si son ciertas o falsas las siguientes aseveraciones:

- a) El valor de la constante del producto de solubilidad alcanza su máximo valor después de varios minutos.
- b) Una disolución saturada de un compuesto insoluble, A_mB_n , tiene una concentración de sal disuelta que es $m + n$ veces la solubilidad.
- c) El valor de la constante del producto de solubilidad depende de la temperatura.

Solución

- a) **Falso.** El valor de K_s sólo depende de la temperatura.

- b) *Falso. La solubilidad se define como la concentración de una disolución saturada.*
- c) *Cierto. K_s es una constante de equilibrio y sólo depende de la temperatura.*

Cuestión 12

Indique si son ciertas o falsas las siguientes afirmaciones:

- a) Si a una disolución saturada de una sal insoluble se le añade uno de los iones que la forma, disminuye la solubilidad.
- b) Dos especies iónicas de cargas opuestas forman un precipitado (compuesto insoluble) cuando el producto de sus concentraciones actuales es igual al producto de solubilidad.
- c) Para desplazar un equilibrio de solubilidad hacia la formación de más cantidad de sólido insoluble, se extrae de la disolución una porción del precipitado.

Solución

- a) *Verdadero, por el efecto del ion común.*
- b) *Falso, pues para que precipite es necesario que supere el producto de solubilidad.*
- c) *Falso, porque la cantidad de sólido en equilibrio con la disolución no afecta a la cantidad disuelta.*

Cuestión 13

Indique si son ciertas o falsas las siguientes afirmaciones:

- a) El desplazamiento de un equilibrio de solubilidad de un compuesto insoluble hacia la solubilización del precipitado puede hacerse retirando uno de los iones que forman la sal insoluble.
- b) Si a un equilibrio de solubilidad de un sólido insoluble se le añade más sólido insoluble, el equilibrio no se desplaza hacia ningún lado.
- c) La molaridad de una disolución saturada de una sal insoluble es su solubilidad.

Solución

- a) *Verdadero.*
- b) *Verdadero.*
- c) *Verdadero.*

$$K_p = \frac{4\alpha^2}{1-\alpha^2} \cdot P_T = \frac{4 \cdot 0'4^2}{1-0'4^2} \cdot 1 = 0'76$$

Hallamos K_c teniendo en cuenta que $\Delta n = 2 - 1 = 1$:

$$K_c = K_p \cdot (R \cdot T)^{-\Delta n} = 0'76 \cdot (0'082 \cdot 323)^{-1} = 2'9 \cdot 10^{-2}$$

b) En la expresión de K_p sustituimos el nuevo valor de la presión y despejamos " α ":

$$\frac{4\alpha^2}{1-\alpha^2} \cdot P_T = 0'76 \quad ; \quad \frac{4\alpha^2}{1-\alpha^2} \cdot 10 = 0'76 \quad \Rightarrow \quad \alpha = 0'14$$

el grado de disociación es 0'14 (porcentaje de disociación = 14%).

La presión ha aumentado y, para contrarrestar dicho aumento, el equilibrio se desplaza en el sentido en el que se obtienen menos moléculas, es decir, hacia la izquierda; por tanto, se disocia una cantidad menor.

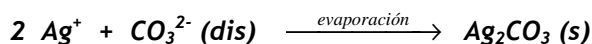
Problema 28

Calcule la solubilidad molar a 25° C del Ag_2CO_3 (sólido insoluble), sabiendo que, a esa temperatura, 100 mL de una disolución saturada del mismo produce por evaporación un residuo de 5'46 g.

Datos. Masas atómicas: C = 12; O = 16; Ag = 108.

Solución

El equilibrio de solubilidad es el siguiente:



La masa obtenida, 5'46 g, es el Ag_2CO_3 sólido, el cual se encontraba disuelto en 100 mL de disolución.

Por tanto, la solubilidad es:

$s = 5'46 \text{ g} / 100 \text{ mL} = 5'46 \text{ g} / 0'1 \text{ L} = 54'6 \text{ g} / \text{L} = (54'6 / 276) \text{ mol} / \text{L} = 0'198 \text{ M}$,
 en la que la masa molecular del Ag_2CO_3 es: $P_M = 2 \cdot 108 + 12 + 16 \cdot 3 = 276 \text{ g} / \text{mol}$

Problema 29

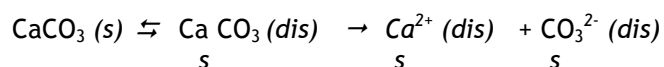
Se desea preparar 1 L de disolución saturada de CaCO_3 (sólido cristalino blanco insoluble) a una temperatura determinada. Calcule:

- La solubilidad de la sal.
- La cantidad mínima necesaria de carbonato de calcio para preparar la disolución saturada.

Datos. $K_s(\text{CaCO}_3) = 4'8 \cdot 10^{-9}$. Masas atómicas: C = 12; O = 16; Ca = 40.

Solución

a) La ecuación del equilibrio de solubilidad en agua es



Del valor del producto de solubilidad en función de la solubilidad tenemos

$$K_s = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}] = s \cdot s = s^2 \text{ y de aquí } s = K_s^{1/2} = (4'8 \cdot 10^{-9})^{1/2} = 6'93 \cdot 10^{-5} \text{ M.}$$

b) Para preparar un litro de disolución saturada de CaCO_3 se necesitan $6'93 \cdot 10^{-5}$ moles del compuesto que multiplicados por su masa molecular tendremos el resultado en gramos: $6'93 \cdot 10^{-5} \cdot 100 = 6'93 \cdot 10^{-3} \text{ g} = 6'93 \text{ mg}$ de CaCO_3 de compuesto, donde 100 es la masa molecular:

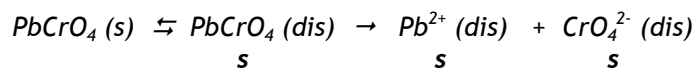
$$M_M = 40 + 12 + 3 \cdot 16 = 100.$$

Problema 30

El cromato de plomo (sólido amarillento insoluble, PbCrO_4) tiene una solubilidad en agua de $5'3 \cdot 10^{-7} \text{ mol / L}$, a 25° C . Calcule el producto de solubilidad del compuesto a esa temperatura.

Solución

Se escribe la ecuación del equilibrio de solubilidad del cromato de plomo. Los coeficientes estequiométricos de la misma indican que si se disuelven $s \text{ mol/L}$ de la sal, se obtiene una disolución saturada de concentración $s \text{ mol/L}$ de cada uno de los iones:



De la expresión del producto de solubilidad tenemos:

$$K_s = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{CrO}_4^{2-}] = s \cdot s = s^2 = (5'3 \cdot 10^{-7})^2 = 2'81 \cdot 10^{-13}$$

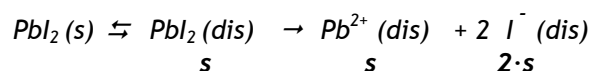
Problema 31

Se sabe que las solubilidades en agua a 25° C del PbI_2 (sólido amarillo insoluble) y Ag_3AsO_4 (sólido blanco insoluble) son respectivamente $1'84 \cdot 10^{-3}$ y $1'39 \cdot 10^{-6}$ M. Calcule:

- El producto de solubilidad del ioduro de plomo a esa temperatura.
- El producto de solubilidad del arseniato de plata a esa temperatura.

Solución

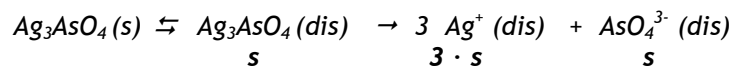
a) La ecuación del equilibrio de solubilidad en agua es



Del valor del producto de solubilidad en función de la solubilidad se puede calcular K_s

$$K_s = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{I}^{-}]^2 = s \cdot (2 \cdot s)^2 = 4 \cdot s^3 = 4 \cdot (1'84 \cdot 10^{-3})^3 = 2'49 \cdot 10^{-8}$$

b) La ecuación del equilibrio de solubilidad en agua es



El producto de solubilidad en función de la solubilidad

$$K_s = [\text{Ag}^{+}]^3 \cdot [\text{AsO}_4^{3-}] = (3 \cdot s)^3 \cdot s = 27 \cdot s^4 = 27 \cdot (1'39 \cdot 10^{-6})^4 = 1'01 \cdot 10^{-22}$$

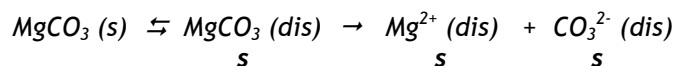
Problema 32

Calcule el producto de solubilidad del MgCO_3 , sabiendo que en 200 mL de una disolución saturada a 25° C se han disuelto 3'2 mg de sal.

Datos. Masas atómicas: C = 12; O = 16; Mg = 24'3.

Solución

Se escribe la ecuación del equilibrio de solubilidad del cromato de plomo. Los coeficientes estequiométricos de la misma indican que si se disuelven s mol/L de la sal, se obtiene una disolución saturada de concentración s mol/L de cada uno de los iones:



De la expresión del producto de solubilidad y del valor de la solubilidad en mol/l, tenemos:

$$s = 3'2 \text{ mg MgCO}_3 / 200 \text{ mL} = 3'2 \cdot 10^{-3} \text{ g MgCO}_3 / 0'200 \text{ L} = 0'016 \text{ g/L};$$

$$0'016 / 84'3 = 1'9 \cdot 10^{-4} \text{ M} \quad (M_M \text{ MgCO}_3 = 84'3)$$

$$K_s = [\text{Mg}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}] = s \cdot s = s^2 = (1'90 \cdot 10^{-4})^2 = 3'61 \cdot 10^{-8}$$

Problema 33

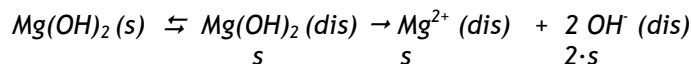
La solubilidad del hidróxido de magnesio, Mg(OH)_2 , en agua es de 9'6 mg / L a 25°C. Calcule:

- El producto de solubilidad de este hidróxido insoluble a esa temperatura.
- La solubilidad a 25° C, en una disolución 0'1 M de $\text{Mg(NO}_3)_2$.

Datos. Masas atómicas: H = 1; O = 16; Mg = 24'3.

Solución

El hidróxido presenta en disolución acuosa el siguiente equilibrio:



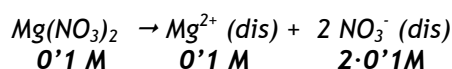
- $K_s (\text{Mg(OH)}_2) = [\text{Mg}^{2+}] \cdot [\text{OH}^-]^2 = s \cdot (2 \cdot s)^2 = 4 \cdot s^3$. El valor de s en unidades molares se obtiene de las siguientes relaciones:

$$s = 9'6 \text{ mg de Mg(OH)}_2 / \text{L} = (9'6 / 1000 \cdot 82'6) \text{ mol /L} = 1'16 \cdot 10^{-4} \text{ M y}$$

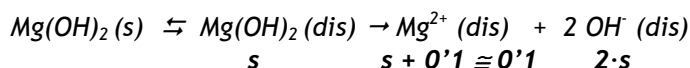
sustituyendo en la expresión anterior llegamos a

$$K_s (\text{Mg(OH)}_2) = 4 \cdot s^3 = 4 \cdot (1'16 \cdot 10^{-4})^3 = 6'24 \cdot 10^{-12}$$

- El $\text{Mg(NO}_3)_2$ en disolución acuosa está totalmente disociado, según



Por consiguiente, en presencia del ion común Mg^{2+} la solubilidad del compuesto insoluble Mg(OH)_2 disminuye, tal como se deduce del equilibrio de solubilidad:



Por tanto, de la expresión $K_s (\text{Mg(OH)}_2) = [\text{Mg}^{2+}] \cdot [\text{OH}^-]^2 = 0'1 \cdot (2 \cdot s)^2$ tenemos el valor de s

$$s = (K_s / 4 \cdot 0'1)^{1/2} = (6'24 \cdot 10^{-12} / 4 \cdot 0'1)^{1/2} = (1'56 \cdot 10^{-11})^{1/2} = 3'95 \cdot 10^{-6} \text{ M.}$$

Problema 34

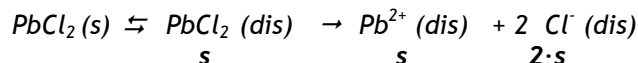
Calcule la concentración de iones Pb^{2+} en las siguientes condiciones:

- En una disolución saturada de cloruro de plomo en agua
- En una disolución saturada de cloruro de plomo en presencia de cloruro a una concentración de $0'02 \text{ M}$.

Dato: $K_s(\text{PbCl}_2) = 1'6 \cdot 10^{-5}$

Solución

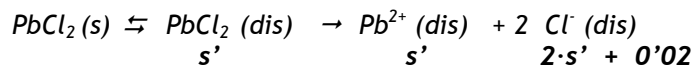
a) La ecuación del equilibrio de solubilidad en agua es



Del valor del producto de solubilidad en función de la solubilidad tenemos

$$\begin{aligned} K_s &= [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{Cl}^-]^2 = s \cdot (2 \cdot s)^2 = 4 \cdot s^3; \\ s &= (K_s / 4)^{1/3} = (1'6 \cdot 10^{-5} / 4)^{1/3} = 0'016 \text{ M.} \end{aligned}$$

b) La ecuación del equilibrio de solubilidad en presencia de cloruro es



$K_s = s' \cdot (2s' + 0'02)^2$; en este caso, dado que el valor de s es semejante a $0'02$, no se puede despreciar $2s'$ frente a $0'02$. Al desarrollar la expresión da una ecuación de tercer grado, la que una vez resuelta da como valor de $s' = 0'010 \text{ M}$.

Problema 35

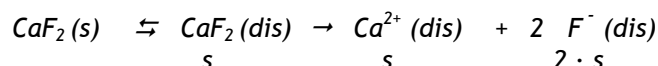
La solubilidad del CaF_2 es de 86 mg / L a 25° C. Calcule:

- La concentración de Ca^{2+} y F^- en una disolución saturada de dicha sal.
- El producto de solubilidad de la sal a esa temperatura.

Datos. Masas atómicas: F = 19; Ca = 40.

Solución

La ecuación del equilibrio de solubilidad es



Por otro lado, la solubilidad expresada en mol / L es

$$s = 86 \text{ mg CaF}_2 / \text{L} = (86 \cdot 10^{-3} / 78) \text{ mol / L} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ M},$$

donde 78 es la masa molecular del CaF_2

- $[\text{Ca}^{2+}] = s = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ M}$ y $[\text{F}^-] = 2 \cdot s = 2 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ M}$
- $K_s(\text{CaF}_2) = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{F}^-]^2 = s \cdot (2 \cdot s)^2 = 4 \cdot s^3 = 4 \cdot (1,1 \cdot 10^{-3})^3 = 5,32 \cdot 10^{-9}$

Problema 36

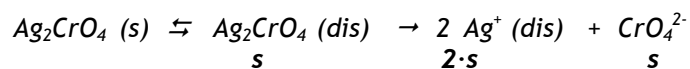
El producto de solubilidad del cromato de plata (sólido amarillo-rojizo insoluble, Ag_2CrO_4), a una temperatura dada es $1,1 \cdot 10^{-12}$. Calcule:

- La molaridad de una disolución saturada de dicha sal a esa temperatura.
- La solubilidad del cromato de plata en mg/L.

Datos. Masas atómicas: O = 16; Cr = 52; Ag = 108.

Solución

El equilibrio de solubilidad del Ag_2CrO_4 viene dado por la expresión:



- La molaridad de la disolución saturada es la solubilidad del sólido insoluble. Por tanto, del producto de solubilidad en función de la solubilidad llegamos a

$$K_s = [\text{Ag}^+]^2 \cdot [\text{CrO}_4^{2-}] = (2 \cdot s)^2 \cdot s = 4 s^3;$$

$$s = (K_s / 4)^{1/3} = (1'1 \cdot 10^{-12} / 4)^{1/3} = 6'5 \cdot 10^{-5} \text{ M.}$$

b) La masa molecular del Ag_2CrO_4 es $M_M = 108 \cdot 2 + 52 + 16 \cdot 4 = 332 \text{ g / mol}$;
 puesto que $s = 6'5 \cdot 10^{-5} \text{ M} = 6'5 \cdot 10^{-5} \text{ mol / L} = (6'5 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot 332 \text{ g/mol}) / \text{L} =$
 $0'0216 \text{ g / L} = 21'6 \text{ mg / L.}$

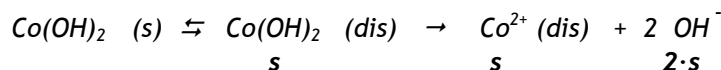
Problema 37

Se disuelve Co(OH)_2 en agua hasta obtener una disolución saturada a una temperatura dada. Se conoce que la concentración de iones OH^- es $3 \cdot 10^{-5} \text{ M}$. Calcule:

- La concentración de iones Co^{2+} de esta disolución.
- El valor de la constante del producto de solubilidad del compuesto poco soluble a esa temperatura.

Solución

El equilibrio de solubilidad del Co(OH)_2 viene dado por la expresión:



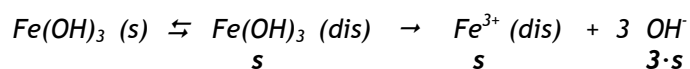
- La concentración de iones Co^{2+} resulta ser la mitad de la concentración de iones OH^- , puesto que, $[\text{OH}^-] = 2 \cdot s = 2 \cdot [\text{Co}^{2+}] = 3 \cdot 10^{-5}$, con lo que $[\text{Co}^{2+}] = [\text{OH}^-] / 2 = 3 \cdot 10^{-5} / 2 = 1'5 \cdot 10^{-5} \text{ M}$.
- El producto de solubilidad es $K_s = [\text{Co}^{2+}] \cdot [\text{OH}^-]^2 = s \cdot (2 \cdot s)^2 = 4 \cdot s^3 =$
 $4 \cdot (1'5 \cdot 10^{-5})^3 = 1'35 \cdot 10^{-14}$.

Problema 38

Conociendo que el producto de solubilidad del Fe(OH)_3 a 25° C es de $6'3 \cdot 10^{-36}$, calcule la solubilidad molar en agua de dicho compuesto a esa temperatura.

Solución

El equilibrio de solubilidad del Fe(OH)_3 viene dado por la expresión:



de la expresión de la constante del producto de solubilidad en función de la solubilidad podremos calcular la solubilidad molar:

$$K_s = [\text{Fe}^{3+}] \cdot [\text{OH}^-]^3 = s \cdot (3 \cdot s)^3 = 27 \cdot s^4 ;$$

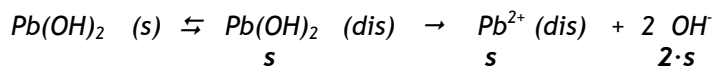
$$s = (K_s / 27)^{1/4} = (6'3 \cdot 10^{-36} / 27)^{1/4} = 6'95 \cdot 10^{-10} \text{ M}$$

Problema 39

Sabiendo que el producto de solubilidad del Pb(OH)_2 a una temperatura dada es de $4 \cdot 10^{-15}$. Calcule la concentración de catión (Pb^{2+}) disuelto.

Solución

El equilibrio de solubilidad del Pb(OH)_2 viene dado por la expresión:



La concentración de iones Pb^{2+} resulta ser igual a la solubilidad del compuesto insoluble y puede por tanto evaluarse a partir de la constante del producto de solubilidad en función de la solubilidad:

$$K_s = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{OH}^-]^2 = s (2 \cdot s)^2 = 4 \cdot s^3 ;$$

$$s = (K_s / 4)^{1/3} = (4 \cdot 10^{-15} / 4)^{1/3} = 10^{-5} \text{ M.}$$

Problema 40

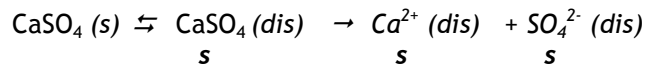
Calcule la solubilidad del CaSO_4 :

- En agua pura.
- En una disolución 0'50 M de Na_2SO_4 .

Dato: $K_s (\text{CaSO}_4) = 9'1 \cdot 10^{-6}$.

Solución

a) La ecuación del equilibrio de solubilidad en agua es

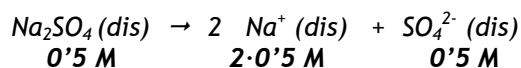


El valor del producto de solubilidad es

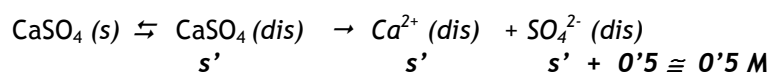
$$K_s = [Ca^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}] = s \cdot s = s^2;$$

$$s = K_s^{1/2} = (9 \cdot 10^{-6})^{1/2} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ M.}$$

b) El Na_2SO_4 está disuelto y totalmente disociado en agua, por lo que



La ecuación del equilibrio de solubilidad en presencia de sulfato es



El producto de solubilidad es

$$K_s = [Ca^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}] = s \cdot 0'5; \quad s' = 9 \cdot 10^{-6} / 0'5 = 1'8 \cdot 10^{-5} \text{ M.}$$

Como era de esperar la solubilidad ha disminuido.

Problema 41

Calcule la solubilidad del Ag_2S en los siguientes casos:

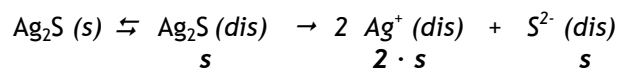
a) En agua pura.

b) En una disolución 0'1 M de $AgNO_3$.

Dato: $K_s (Ag_2S) = 8 \cdot 10^{-51}$.

Solución

a) La ecuación del equilibrio de solubilidad en agua es

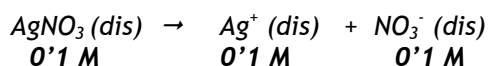


Del valor del producto de solubilidad en función de la solubilidad tenemos

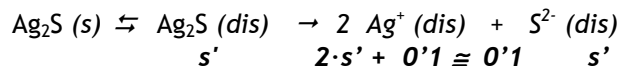
$$K_s = [Ag^+]^2 \cdot [S^{2-}] = (2 \cdot s)^2 \cdot s = 4 \cdot s^3;$$

$$s = (K_s / 4)^{1/3} = (8 \cdot 10^{-51} / 4)^{1/3} = 1'26 \cdot 10^{-17} \text{ M.}$$

b) El $AgNO_3$ está disuelto y totalmente disociado en agua, por lo que



La ecuación del equilibrio de solubilidad en presencia de nitrato de plata es



$$K_s = [\text{Ag}^+]^2 \cdot [\text{S}^{2-}] = 0'1^2 \cdot s' ; \quad s' = K_s / 0'01 = 8 \cdot 10^{-51} / 0'01 = 8 \cdot 10^{-49} \text{ M. Como era de esperar la solubilidad ha disminuido.}$$

Problema 42

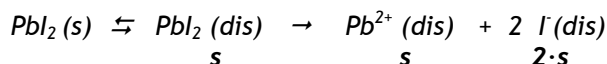
Calcule la solubilidad del PbI_2 en los siguientes casos:

- En agua pura.
- En una disolución 0'5 M de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.
- En una disolución 0'1 M de KI.

Dato: $K_s(\text{PbI}_2) = 1'4 \cdot 10^{-8}$

Solución

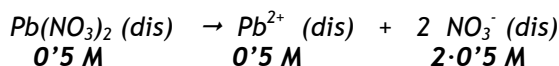
a) El equilibrio de solubilidad del PbI_2 en agua viene dado por la expresión:



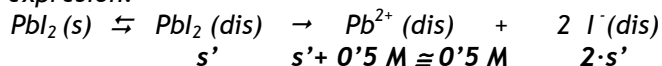
La solubilidad del compuesto insoluble puede estimarse a partir de la constante del producto de solubilidad en función de la solubilidad:

$$K_s = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{I}^-]^2 = s (2 \cdot s)^2 = 4 \cdot s^3 \text{ y } s = (K_s/4)^{1/3} = (1'4 \cdot 10^{-8} / 4)^{1/3} = 1'52 \cdot 10^{-3} \text{ M.}$$

b) En disolución acuosa el $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ está totalmente disociado, según:



El equilibrio de solubilidad del PbI_2 en presencia de nitrato de plomo viene dado por la expresión:

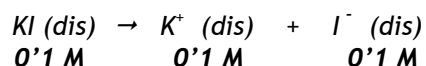


$$K_s = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{I}^-]^2 = 0'5 \cdot (2 \cdot s')^2 = 2 \cdot s'^2;$$

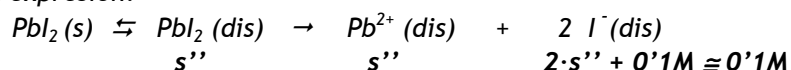
$$s' = (K_s / 2)^{1/2} = (1'4 \cdot 10^{-8} / 2)^{1/2} = 8'37 \cdot 10^{-5} \text{ M.}$$

Cómo se desprende de la comparación con la solubilidad en agua, ha disminuido la solubilidad por efecto de ion común.

c) Una disolución de KI está totalmente disociada en agua, según:



El equilibrio de solubilidad del PbI_2 en presencia de yoduro de potasio viene dado por la expresión:



$$K_s = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{I}^-]^2 = s'' \cdot 0'1^2 = s'' \cdot 0'01;$$

$$s'' = K_s / 0'01 = 1'4 \cdot 10^{-8} / 0'01 = 1'4 \cdot 10^{-6} \text{ M.}$$

Como se desprende de la comparación con la solubilidad en agua, ha disminuido grandemente la solubilidad por efecto de ion común.

Problema 43

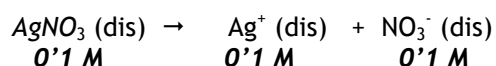
Calcule la solubilidad del Ag_3AsO_4 en los siguientes casos:

- a) En una disolución 0'1 M de AgNO_3 .
 b) En una disolución 0'1 M de Na_3AsO_4 .

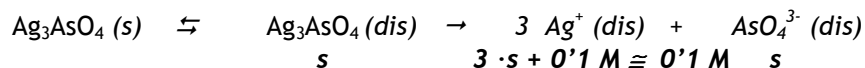
Dato: $K_s (\text{Ag}_3\text{AsO}_4) = 10^{-22}$.

Solución

a) El AgNO_3 está disuelto y totalmente disociado en agua, por lo que



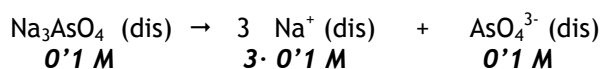
La ecuación del equilibrio de solubilidad en presencia de nitrato es



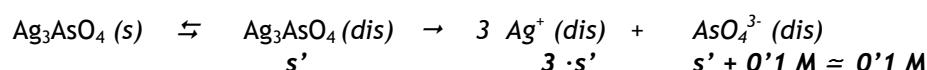
El valor del producto de solubilidad:

$$K_s = [Ag^+]^3 \cdot [AsO_4^{3-}] = 0'1^3 \cdot s; \quad s = 10^{-22}/0'001 = 10^{-19} \text{ M.}$$

b) El Na_3AsO_4 está disuelto y totalmente dissociado en agua, por lo que



La ecuación del equilibrio de solubilidad en presencia del arseniato de sodio es



El valor del producto de solubilidad es:

$$K_s = [Ag^+]^3 \cdot [AsO_4^{3-}] = (3 \cdot s')^3 \cdot 0'1; \quad s' = (10^{-22}/0'1 \cdot 27)^{1/3} = 3'3 \cdot 10^{-8} \text{ M.}$$

Problema 44

Se mezclan 100 mL de disolución 1M de Na_2SO_4 con 100 mL de disolución 0'1 M de $Pb(NO_3)_2$.

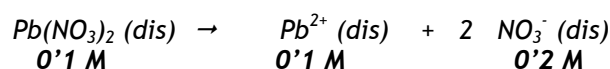
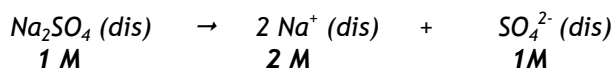
a) Razone si se forma o no un precipitado de $PbSO_4$.

b) Calcule la cantidad de compuesto insoluble ($PbSO_4$) que se forma.

Dato: $K_s (PbSO_4) = 1'58 \cdot 10^{-8}$.

Solución

a) Las disoluciones de Na_2SO_4 y de $Pb(NO_3)_2$ están completamente dissociadas en disolución acuosa, por tanto, podemos escribir:

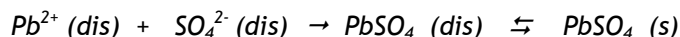


No obstante cuando las disoluciones se mezclan las concentraciones disminuyen debido a la dilución que se produce ya que el volumen aumenta (volumen final 200 mL):

$$[Na^+] = 0'1 \text{ L} \cdot 2 \text{ M} / 0'2 \text{ L} = 1 \text{ M}; \quad [NO_3^-] = 0'1 \text{ L} \cdot 0'2 \text{ M} / 0'2 \text{ L} = 0'1 \text{ M};$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = 0'1 \text{ L} \cdot 1\text{M} / 0'2 \text{ L} = 0'5 \text{ M}; \quad [\text{Pb}^{2+}] = 0'1 \text{ L} \cdot 0'1 \text{ M} / 0'2 \text{ L} = 0'05 \text{ M}$$

El equilibrio de solubilidad que se puede producir será

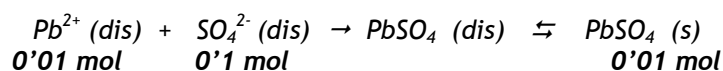


Los iones Pb^{2+} y SO_4^{2-} pueden formar sulfato de plomo, que es un compuesto muy poco soluble (sólido blanco), si el producto de sus concentraciones actuales elevadas a sus coeficientes estequiométricos es mayor que el producto de solubilidad de este compuesto:

$$\begin{array}{ll} K_s < [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] & \text{Precipita} \\ K_s > [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] & \text{No precipita. Existe una disolución insaturada} \\ K_s = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] & \text{No precipita. Se forma una disolución saturada} \end{array}$$

Por tanto, como $[\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] = 0'05 \cdot 0'5 = 0'025 > K_s = 1'58 \cdot 10^{-8}$, el sulfato de plomo precipitará.

b) La cantidad de Pb^{2+} es $0'05 \text{ M} \cdot 0'2 \text{ L} = 0'01$ moles y la de SO_4^{2-} es $0'5 \cdot 0'2 = 0'1$ moles y puesto que el equilibrio es



La cantidad de compuesto insoluble formado es de 0'01 moles. (Se desprecia la cantidad que queda disuelta)

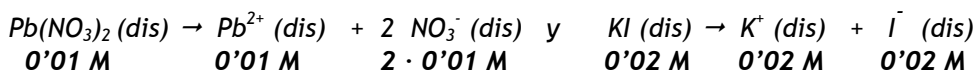
Problema 45

Indique si se formará un precipitado de PbI_2 (fase sólida amarilla) cuando a 100 mL de una disolución 0'01 M de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ se le añaden 50 mL de una disolución de KI 0'02 M.

Dato: $K_s (\text{PbI}_2) = 7'1 \cdot 10^{-9}$.

Solución

El $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ y el KI son sales solubles en agua por lo que estarán totalmente disociadas en sus iones:



Los iones Pb^{2+} y I^- pueden formar ioduro de plomo, que es un compuesto muy poco soluble (sólido amarillo), si el producto de sus concentraciones actuales elevadas a sus coeficientes estequiométricos es mayor que el producto de solubilidad de este compuesto:

$$\begin{array}{ll} K_s < [Pb^{2+}] \cdot [I^-]^2 & \text{Precipita} \\ K_s > [Pb^{2+}] \cdot [I^-]^2 & \text{No precipita. Existe una disolución insaturada} \\ K_s = [Pb^{2+}] \cdot [I^-]^2 & \text{No precipita. Se forma una disolución saturada} \end{array}$$

Calculemos la concentración de los iones cuando se han mezclado las dos disoluciones, ya que al mezclar ambas disoluciones (volumen final de 150 mL) se produce en cada una un efecto de dilución y por tanto de variación de la concentración de la misma.

$$[Pb^{2+}] = 0'1 \text{ L} \cdot 0'01 \text{ M} / 0'15 \text{ L} = 6'7 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$[I^-] = 0'05 \text{ L} \cdot 0'02 \text{ M} / 0'15 \text{ L} = 6'7 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

de aquí que el producto iónico actual de los iones sea:

$$[Pb^{2+}] \cdot [I^-]^2 = (6'7 \cdot 10^{-3}) \cdot (6'7 \cdot 10^{-3})^2 = 3 \cdot 10^{-7};$$

$$3 \cdot 10^{-7} > K_s = 7'1 \cdot 10^{-9}.$$

Con lo cual se formará un precipitado de ioduro de plomo.

Problema 46

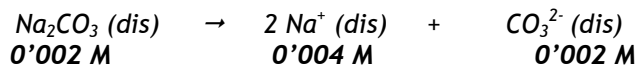
Se mezclan 10 mL de disolución 10^{-3} M de Ca^{2+} con 10 mL de disolución $2 \cdot 10^{-3}$ M de Na_2CO_3 .

- a) Justifique si se forma o no precipitado.
 b) En caso de que se forme precipitado, calcule la cantidad de sólido formado ($CaCO_3$).

Dato: $K_s (CaCO_3) = 4 \cdot 10^{-9}$.

Solución

- a) La disolución de Na_2CO_3 está completamente disociada en disolución acuosa, por tanto, podemos escribir:

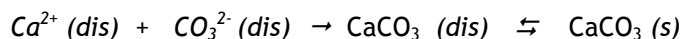


Cuando las disoluciones se mezclan las concentraciones disminuyen debido a la dilución que se produce ya que el volumen aumenta (volumen final 20 mL):

$$[Ca^{2+}] = 0'01 \text{ L} \cdot 0'001 \text{ M} / 0'02 \text{ L} = 0'0005 \text{ M}$$

$$[CO_3^{2-}] = 0'01 \text{ L} \cdot 0'002 \text{ M} / 0'02 \text{ L} = 0'001 \text{ M}$$

El equilibrio de solubilidad que se puede producir será



Los iones Ca^{2+} y CO_3^{2-} pueden formar carbonato de calcio, que es un compuesto muy poco soluble (sólido blanco), si el producto de sus concentraciones actuales elevadas a sus coeficientes estequiométricos es mayor que el producto de solubilidad de este compuesto:

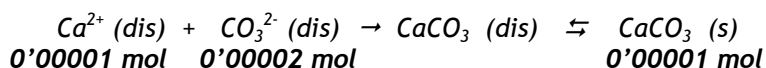
$$K_s < [Ca^{2+}] \cdot [CO_3^{2-}] \quad \text{Precipita}$$

$$K_s > [Ca^{2+}] \cdot [CO_3^{2-}] \quad \text{No precipita. Existe una disolución insaturada}$$

$$K_s = [Ca^{2+}] \cdot [CO_3^{2-}] \quad \text{No precipita. Se forma una disolución saturada}$$

Por tanto, como $[Ca^{2+}] \cdot [CO_3^{2-}] = 0'0005 \cdot 0'001 = 5 \cdot 10^{-7}$;
 $5 \cdot 10^{-7} > K_s = 4 \cdot 10^{-9}$, el carbonato de calcio precipitará.

b) La cantidad de Ca^{2+} es $0'0005 \text{ M} \cdot 0'02 \text{ L} = 10^{-5}$ moles y la de CO_3^{2-} es $0'001 \cdot 0'02 = 2 \cdot 10^{-5}$ moles y puesto que el equilibrio es



La cantidad de compuesto insoluble formado es de 10^{-5} moles. (Se desprecia la cantidad que queda disuelta)

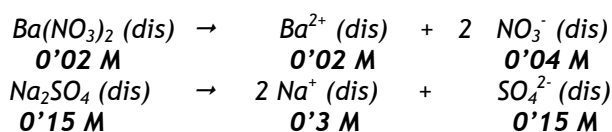
Problema 47

Se mezclan 100 mL de disolución 0'02 M de $Ba(NO_3)_2$ con 50 mL de disolución 0'15 M de Na_2SO_4 . Calcule la concentración de las especies disueltas.

Dato: $K_s (BaSO_4) = 1'1 \cdot 10^{-10}$.

Solución

a) Las disoluciones de $Ba(NO_3)_2$ y Na_2SO_4 están completamente disociadas en disolución acuosa, por tanto, podemos escribir:

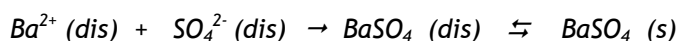


También, tenemos que tener en cuenta la dilución (volumen final 150 mL):

$$\begin{aligned}
 [\text{Ba}^{2+}] &= 0'1 \text{ L} \cdot 0'02 \text{ M} / 0'15 \text{ L} = 0'013 \text{ M} \\
 [\text{NO}_3^-] &= 0'1 \text{ L} \cdot 0'04 \text{ M} / 0'15 \text{ L} = 0'027 \text{ M} \\
 [\text{Na}^+] &= 0'05 \text{ L} \cdot 0'3 \text{ M} / 0'15 \text{ L} = 0'1 \text{ M} \\
 [\text{SO}_4^{2-}] &= 0'05 \text{ L} \cdot 0'15 \text{ M} / 0'15 \text{ L} = 0'05 \text{ M}
 \end{aligned}$$

Ahora bien, las especies disueltas Ba^{2+} y SO_4^{2-} pueden dar lugar a un precipitado (sólido microcristalino blanco), por tanto sus concentraciones en disolución acuosa están determinadas por la solubilidad del sulfato de bario.

El equilibrio de solubilidad que se puede producir será

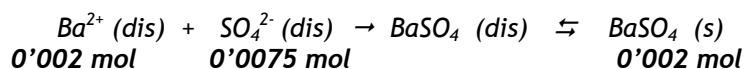


Los iones Ba^{2+} y SO_4^{2-} pueden formar sulfato de bario, que es un compuesto muy poco soluble, si el producto de sus concentraciones actuales elevadas a sus coeficientes estequiométricos es mayor que el producto de solubilidad de este compuesto:

$$\begin{array}{ll}
 K_s < [\text{Ba}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] & \text{Precipita} \\
 K_s > [\text{Ba}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] & \text{No precipita. Existe una disolución insaturada} \\
 K_s = [\text{Ba}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] & \text{No precipita. Se forma una disolución saturada}
 \end{array}$$

Por tanto, como $[\text{Ba}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] = 0'05 \cdot 0'013 = 6'5 \cdot 10^{-4}$;
 $6'5 \cdot 10^{-4} > K_s = 1'1 \cdot 10^{-10}$, el sulfato de bario precipitará.

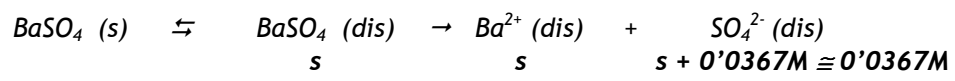
La cantidad de Ba^{2+} presente es $0'013 \text{ M} \cdot 0'15 \text{ L} = 0'002$ moles y la de SO_4^{2-} es $0'05 \cdot 0'15 = 0'0075$ moles y puesto que el equilibrio es



La cantidad de compuesto insoluble formado es de 0'002 moles. Por tanto en disolución quedará únicamente la concentración de bario (II) dada por la solubilidad en presencia de un exceso de ion sulfato, que es de $0'0075 - 0'002 = 0'0055$ moles. De aquí se puede calcular la concentración de sulfato

$$[\text{SO}_4^{2-}] = 0'0055 \text{ mol} / 0'15 \text{ L} = 0'0367 \text{ M}$$

Del equilibrio de solubilidad llegamos a



De $K_s = [\text{Ba}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] = [\text{Ba}^{2+}] \cdot 0'0367$ y de aquí $[\text{Ba}^{2+}] = K_s / 0'0367 = 3 \cdot 10^{-8} \text{ M}$.