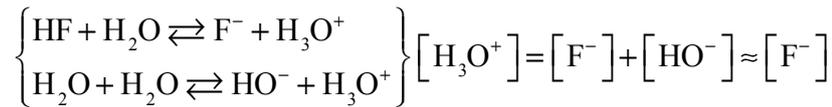


**Problemas resueltos de «Ácidos y bases»**

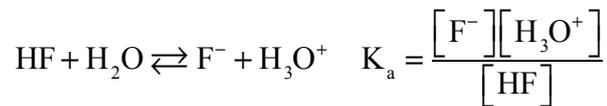
1) Tenemos una disolución de fluoruro de hidrógeno, de concentración 0,0010 M. Calcula el grado de disociación del HF en el equilibrio y el pH de la disolución. Dato:  $K_a(\text{HF}) = 10^{-3,25}$ . [pH = 3,28; 52%]

**Respuesta:**

Equilibrios químicos:



Equilibrio del ácido fluorhídrico:



HF	F <sup>-</sup>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>
c <sub>a</sub> - x	x	x
c <sub>a</sub> (1 - α)	c <sub>a</sub> α	c <sub>a</sub> α

$$K_a = \frac{[\text{F}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HF}]} = \frac{(c_a \alpha)(c_a \alpha)}{c_a(1 - \alpha)} = \frac{c_a \alpha^2}{1 - \alpha}$$

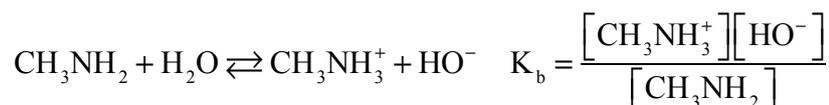
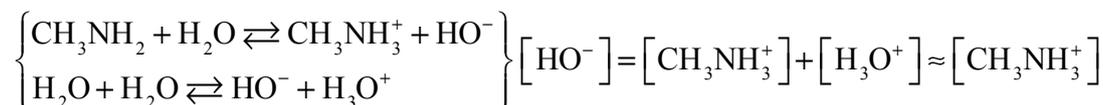
$$\left\{ \begin{array}{l} c_a \alpha^2 = K_a(1 - \alpha) \\ c_a \alpha^2 + K_a \alpha - K_a = 0 \end{array} \right\} \left\{ \alpha = \frac{-K_a \pm \sqrt{(K_a)^2 + 4c_a K_a}}{2 \times c_a} = 0,52 \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} [\text{H}_3\text{O}^+] = c_a \alpha = 0,001 \times 0,52 = 5,2 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ \text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = 3,28 \end{array} \right.$$

2) Calcula el pH de la disolución acuosa del compuesto metanamina, CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>, si la concentración es 0,010 M. Datos:  $K_b(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 10^{-3,34}$ ;  $K_w = 10^{-14}$ . [11,3]

**Respuesta:**

Equilibrios químicos:



CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> <sup>+</sup>	HO <sup>-</sup>
c <sub>b</sub> - x	x	x
c <sub>b</sub> (1 - α)	c <sub>b</sub> α	c <sub>b</sub> α

$$K_b = \frac{[\text{CH}_3\text{NH}_3^+][\text{HO}^-]}{[\text{CH}_3\text{NH}_2]} = \frac{x \cdot x}{c_b - x}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x^2 + K_b x - c_b K_b = 0 \\ x = \frac{-K_b \pm \sqrt{(K_b)^2 + 4c_b K_b}}{2} = 0,00192 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} [\text{HO}^-] = x = 0,00192 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ \text{pOH} = -\log[\text{HO}^-] = 2,7 \\ \text{pH} = 14 - \text{pOH} = 11,3 \end{array} \right.$$

3) Una disolución acuosa de ácido nitroso tiene el valor de  $\text{pH} = 3,0$ . Calcula la concentración de  $\text{HNO}_2$  en la disolución. Dato:  $K_a(\text{HNO}_2) = 4,5 \cdot 10^{-4}$ .  $[0,0032 \text{ mol/L}]$

**Respuesta:**

Equilibrio químico del ácido nitroso:

$$\text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NO}_2^- + \text{H}_3\text{O}^+ \quad K_a = \frac{[\text{NO}_2^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HNO}_2]} = 4,5 \cdot 10^{-4} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{pH} = 3 \\ [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{array} \right.$$

$\text{HNO}_2$	$\text{NO}_2^-$	$\text{H}_3\text{O}^+$
$c_a - x = c_a - 10^{-3}$	$x = 10^{-3}$	$x = 10^{-3}$

$$K_a = 4,5 \cdot 10^{-4} = \frac{10^{-3} \times 10^{-3}}{c_a - 10^{-3}} \quad \left\{ \begin{array}{l} c_a = \frac{10^{-6}}{4,5 \cdot 10^{-4}} + 10^{-3} \\ c_a = 0,0032 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{array} \right.$$

4) Se disuelven 0,170 g de amoníaco en 100 mL de agua, siendo el pH medido 11,12 a 25°C. Calcula la constante de basicidad del amoníaco a esa temperatura. Datos: (N) = 14; (H) = 1.  $[1,76 \cdot 10^{-5}]$

**Respuesta:**

Equilibrios químicos:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{HO}^- \\ \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HO}^- + \text{H}_3\text{O}^+ \end{array} \right\} [\text{HO}^-] = [\text{NH}_4^+] + [\text{H}_3\text{O}^+] \approx [\text{NH}_4^+]$$

Equilibrio químico del amoníaco:

$$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{HO}^- \quad K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{HO}^-]}{[\text{NH}_3]}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{pH} = 11,12 \\ \text{pOH} = 14 - \text{pH} = 2,88 \\ [\text{HO}^-] = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-2,88} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} [\text{NH}_3] = \frac{n_{\text{NH}_3}}{V(\text{L})} = \frac{\frac{0,170 \text{ g}}{17 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}}{\frac{100 \text{ mL}}{1000 \text{ mL/L}}} = \frac{0,01 \text{ mol}}{0,1 \text{ L}} = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ c_{b(\text{NH}_3)} = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{array} \right.$$

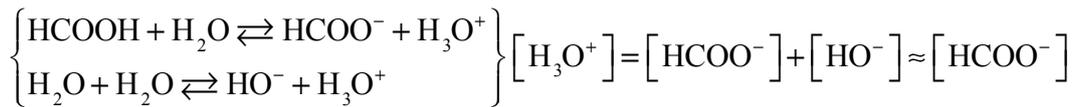
$\text{NH}_3$	$\text{NH}_4^+$	$\text{HO}^-$
$c_b - x$	$x$	$x$
$0,1 - 10^{-2,88}$	$10^{-2,88}$	$10^{-2,88}$

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{HO}^-]}{[\text{NH}_3]} = \frac{10^{-2,88} \times 10^{-2,88}}{0,1 - 10^{-2,88}} = 1,76 \cdot 10^{-5}$$

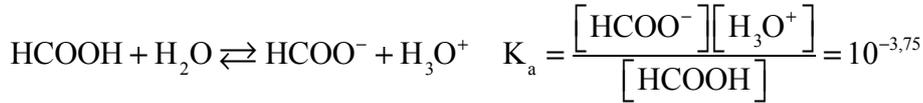
5) Calcula el grado de disociación del ácido metanoico en una disolución acuosa de concentración 0,030 mol/L y el pH de la misma. Dato:  $K_a(\text{HCOOH}) = 10^{-3,75}$ .  $[0,074; \text{pH} = 2,65]$

**Respuesta:**

Equilibrios químicos:



Equilibrio químico del ácido metanoico:



HCOOH	HCOO <sup>-</sup>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>
c <sub>a</sub> - x	x	x
c <sub>a</sub> (1 - α)	c <sub>a</sub> α	c <sub>a</sub> α

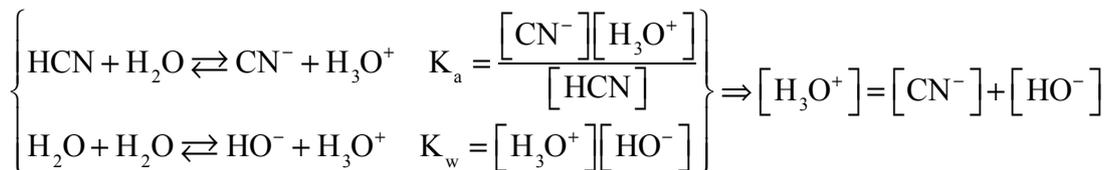
$$K_a = 10^{-3,75} = \frac{(c_a \alpha)(c_a \alpha)}{c_a(1 - \alpha)} = \frac{c_a \alpha^2}{1 - \alpha} = \frac{0,030 \alpha^2}{1 - \alpha}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} c_a \alpha^2 + K_a \alpha - K_a = 0 \\ \alpha = \frac{-K_a \pm \sqrt{(K_a)^2 + 4c_a K_a}}{2c_a} = 0,074 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} [\text{H}_3\text{O}^+] = c_a \alpha = 0,030 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,074 \\ [\text{H}_3\text{O}^+] = 2,22 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ \text{pH} = 2,65 \end{array} \right.$$

6) Calcula el pH de una disolución acuosa de ácido cianhídrico, HCN, de concentración 0,0010 M. Datos: el HCN es un ácido muy débil y hay que considerar el equilibrio de autodisociación del agua;  $K_a(\text{HCN}) = 10^{-9,31}$ ;  $K_w = 10^{-14}$ . [pH = 6,15]

**Respuesta:**

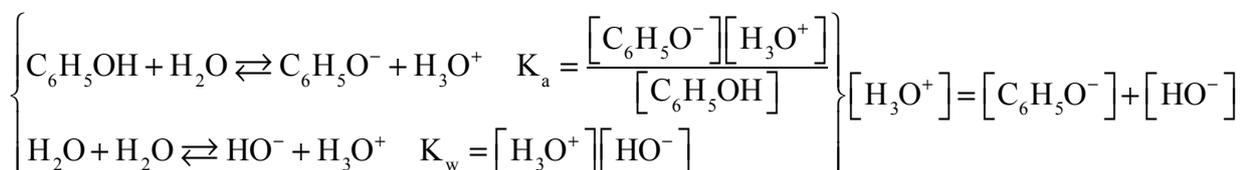
El ácido cianídrico HCN es un ácido muy débil  $K_a = 10^{-9,31}$  por lo que no debemos despreciar el equilibrio de autodisociación del agua. Equilibrios químicos:



$$\left\{ \begin{array}{l} [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{CN}^-] + [\text{HO}^-] = \frac{K_a [\text{HCN}]}{[\text{H}_3\text{O}^+]} + \frac{K_w}{[\text{H}_3\text{O}^+]} \\ [\text{H}_3\text{O}^+]^2 = K_a [\text{HCN}] + K_w = K_a c_a + K_w \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} [\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K_a c_a + K_w} \\ [\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{10^{-9,31} \times 0,0010 + 10^{-14}} \\ [\text{H}_3\text{O}^+] = 7,0695 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ \text{pH} = 6,15 \end{array} \right.$$

7) Determina el pH de una disolución acuosa de fenol, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH, de concentración 0,0010 M. Datos: el fenol es un ácido muy débil,  $K_a = 10^{-10}$ , y hay que considerar el equilibrio de autodisociación del agua,  $K_w = 10^{-14}$ . [6,5]

**Respuesta:**

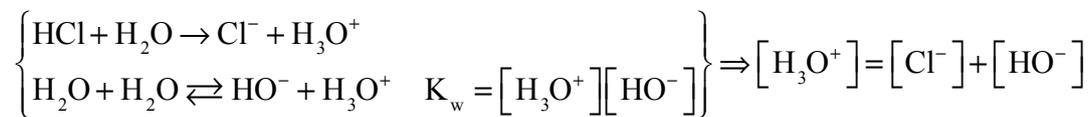


$$\left\{ \begin{array}{l} [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-] + [\text{HO}^-] = \frac{K_a [\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}]}{[\text{H}_3\text{O}^+]} + \frac{K_w}{[\text{H}_3\text{O}^+]} \\ [\text{H}_3\text{O}^+]^2 = K_a [\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}] + K_w = K_a c_a + K_w \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} [\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K_a c_a + K_w} \\ [\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{10^{-10} \times 0,0010 + 10^{-14}} \\ [\text{H}_3\text{O}^+] = 3,3 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ \text{pH} = 6,5 \end{array} \right.$$

8) Calcula el pH de una disolución acuosa de ácido clorhídrico, que es un ácido muy fuerte, de concentración  $1,0 \cdot 10^{-7}$  M. Considera que el ácido es muy fuerte pero a una concentración tan pequeña hay que considerar el equilibrio de autodisociación del agua  $K_w = 10^{-14}$ . [pH = 6,79]

**Respuesta:**

Equilibrios químicos:

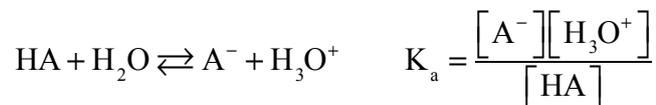


$$\left\{ \begin{array}{l} [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{Cl}^-] + [\text{HO}^-] \\ [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-7} + \frac{K_w}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = 10^{-7} + \frac{10^{-14}}{[\text{H}_3\text{O}^+]} \\ [\text{H}_3\text{O}^+]^2 = 10^{-7} [\text{H}_3\text{O}^+] + 10^{-14} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} [\text{H}_3\text{O}^+]^2 - 10^{-7} [\text{H}_3\text{O}^+] - 10^{-14} = 0 \\ [\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{10^{-7} \pm \sqrt{10^{-14} + 4 \cdot 10^{-14}}}{2} \\ [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,62 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ \text{pH} = 6,79 \end{array} \right.$$

9) Un ácido débil está disociado un 3,0% en una disolución acuosa de concentración 0,0010 M. ¿Cuál será el grado de disociación en una disolución acuosa pero de concentración 0,0100 M y a la misma temperatura?. [0,96% ó 0,0096]

**Respuesta:**

Como la temperatura es la misma la constante de equilibrio no varía y es la misma.



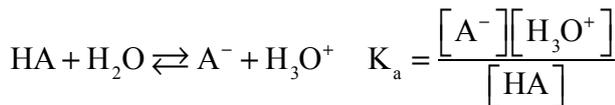
HA	A <sup>-</sup>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>
c <sub>a</sub> - x	x	x
c <sub>a</sub> (1 - α)	c <sub>a</sub> α	c <sub>a</sub> α
c' <sub>a</sub> (1 - α')	c' <sub>a</sub> α'	c' <sub>a</sub> α'

$$\left\{ \begin{array}{l} c_a = 0,0010 \text{ M} \\ \alpha = 0,03 \\ c'_a = 0,0100 \text{ M} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} K_a = \frac{c_a \alpha^2}{1 - \alpha} = \frac{0,0010 \times 0,03^2}{1 - 0,03} \\ K_a = 9,28 \cdot 10^{-7} \\ K_a = \frac{c'_a \alpha'^2}{1 - \alpha'} = \frac{0,0100 \alpha'^2}{1 - \alpha'} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} K_a = \frac{c'_a \alpha'^2}{1 - \alpha'} \\ c'_a \alpha'^2 + K_a \alpha' - K_a = 0 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \alpha' = \frac{-K_a \pm \sqrt{(K_a)^2 + 4c'_a K_a}}{2c'_a} \\ \alpha' = \frac{-(9,28 \cdot 10^{-7}) \pm \sqrt{(9,28 \cdot 10^{-7})^2 + 4 \times 0,0100 \times (9,28 \cdot 10^{-7})}}{2 \times 0,0100} = 0,0096 \end{array} \right.$$

10) ¿Hasta qué volumen habrá que diluir 200 mL de una disolución acuosa de un ácido débil de concentración 0,050 M y de constante de acidez  $K_a = 1,0 \cdot 10^{-5}$  para que su grado de disociación se triplique?. [1.851,8 mL]

**Respuesta:**



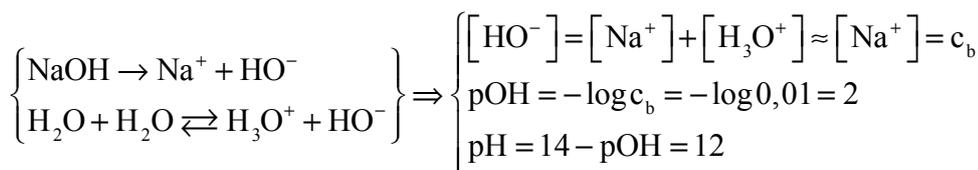
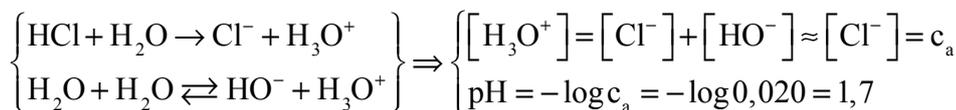
HA	$\text{A}^-$	$\text{H}_3\text{O}^+$
$c_a - x$	x	x
$c_a(1 - \alpha)$	$c_a \alpha$	$c_a \alpha$
$c'_a(1 - \alpha')$	$c'_a \alpha'$	$c'_a \alpha'$

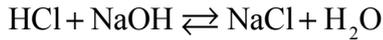
$$\left\{ \begin{array}{l} c_a = 0,050 \text{ M} \\ \alpha' = 3\alpha \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} K_a = 1,0 \times 10^{-5} = \frac{c_a \alpha^2}{1 - \alpha} = \frac{c'_a \alpha'^2}{1 - \alpha'} \\ K_a = 1,0 \times 10^{-5} = \frac{c_a \alpha^2}{1 - \alpha} \\ c_a \alpha^2 + K_a \alpha - K_a = 0 \\ \alpha = 0,014 \end{array} \right.$$

$$K_a = \frac{c'_a \alpha'^2}{1 - \alpha'} \left\{ \begin{array}{l} c'_a = \frac{K_a(1 - \alpha')}{\alpha'^2} \\ c'_a = \frac{1,0 \times 10^{-5} \times [1 - (3 \times 0,014)]}{(3 \times 0,014)^2} = 0,0054 \text{ M} \\ n_a = c_a V_a = c'_a V'_a \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} V'_a = \frac{c_a V_a}{c'_a} \\ V'_a = \frac{0,050 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 200 \text{ mL}}{0,0054 \frac{\text{mol}}{\text{L}}} \\ V'_a = 1.851,8 \text{ mL} \end{array} \right.$$

11) Calcula: a) el pH de 30 mL de HCl de concentración 0,02 M; b) el pH de 70 mL de NaOH de concentración 0,01 M; c) el pH resultante de la mezcla de las disoluciones anteriores. [a) 1,7; b) 12 y c) 11]

**Respuesta:**





$$\left. \begin{array}{l} n_{\text{HCl}} = c_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}} = 0,02 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,030 \text{ L} = 6,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \\ n_{\text{NaOH}} = c_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}} = 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,070 \text{ L} = 7,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \end{array} \right\} n_{\text{HCl}} < n_{\text{NaOH}}$$

Reacciona el HCl y queda NaOH

$$n_{\text{NaOH}} = (n_{\text{NaOH}})_{\text{inicial}} - 1 \times n_{\text{HCl}} = 7,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol} - 1 \times 6,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol} = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

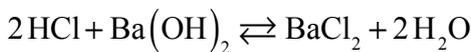
$$[\text{HO}^-]_{\text{f}} = \frac{n_{\text{NaOH}}}{V_{\text{HCl}} + V_{\text{NaOH}}} = \frac{1,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{0,100 \text{ L}} = 1,0 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \Rightarrow \begin{cases} \text{pOH} = 3,0 \\ \text{pH} = 11 \end{cases}$$

12) Calcula: a) el pH de 50 mL de HCl de concentración 0,01 M; b) el pH de 50 mL de Ba(OH)<sub>2</sub> de concentración 0,01 M; c) el pH resultante de la mezcla de las disoluciones anteriores. [a) 2; b) 12,3 y c) 11,7]

**Respuesta:**

$$\{\text{HCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cl}^- + \text{H}_3\text{O}^+\} \Rightarrow \begin{cases} [\text{H}_3\text{O}^+] = c_{\text{a}} \\ \text{pH} = -\log c_{\text{a}} = -\log 0,010 = 2 \end{cases}$$

$$\{\text{Ba}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ba}^{2+} + 2 \text{HO}^-\} \Rightarrow \begin{cases} [\text{HO}^-] = 2[\text{Ba}^{2+}] = 2c_{\text{b}} \\ \text{pOH} = -\log(2c_{\text{b}}) = -\log(2 \times 0,01) = 1,7 \\ \text{pH} = 14 - \text{pOH} = 12,3 \end{cases}$$



$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{-\Delta n_{\text{HCl}}}{2} = \frac{-\Delta n_{\text{Ba}(\text{OH})_2}}{1} \\ n_{\text{HCl}} = c_{\text{a}} V_{\text{a}} = 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,050 \text{ L} = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \\ n_{\text{Ba}(\text{OH})_2} = c_{\text{b}} V_{\text{b}} = 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,050 \text{ L} = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \end{array} \right\}$$

$$-\Delta n_{\text{HCl}} < 2(-\Delta n_{\text{Ba}(\text{OH})_2}) \quad \left\{ \text{Reacciona el HCl y queda Ba}(\text{OH})_2 \right.$$

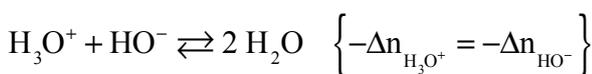
$$n_{\text{Ba}(\text{OH})_2} = (n_{\text{Ba}(\text{OH})_2})_{\text{i}} - \frac{\Delta n_{\text{HCl}}}{2} = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol} - \frac{5,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{2} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$[\text{HO}^-]_{\text{f}} = 2[\text{Ba}(\text{OH})_2]_{\text{f}} = 2 \times \frac{2,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{0,100 \text{ L}} = 5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$\text{pOH} = -\log[\text{HO}^-]_{\text{f}} = -\log(5 \cdot 10^{-3}) = 2,30$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 11,7$$

Otra forma de hacerlo:



$$\left. \begin{array}{l} n_{\text{H}^+} = c_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}} = 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,050 \text{ L} = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \\ n_{\text{HO}^-} = 2c_{\text{Ba}(\text{OH})_2} V_{\text{Ba}(\text{OH})_2} = 2 \times 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,050 \text{ L} = 10,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \end{array} \right\} n_{\text{H}^+} < n_{\text{HO}^-}$$

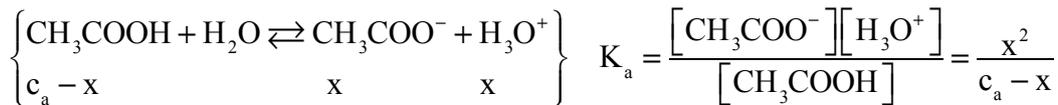
$$[\text{HO}^-]_f = \frac{n_{\text{HO}^-} - n_{\text{H}_3\text{O}^+}}{V_{\text{HCl}} + V_{\text{Ba}(\text{OH})_2}} = \frac{10,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol} - 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{0,100 \text{ L}} = 5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$\text{pOH} = -\log[\text{HO}^-]_f = -\log(5 \cdot 10^{-3}) = 2,30$$

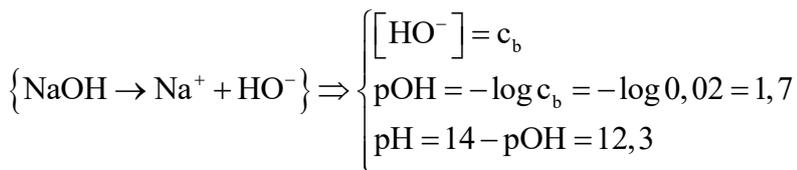
$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 11,7$$

13) Calcula: a) el pH de 100 mL de  $\text{CH}_3\text{COOH}$  de concentración 0,01 M; b) el pH de 10 mL de  $\text{NaOH}$  de concentración 0,02 M; c) el pH resultante de la mezcla de las disoluciones anteriores. Dato:  $\text{pK}_a = 4,75$ . [a) 3,38; b) 12,3 y c) 4,15]

**Respuesta:**

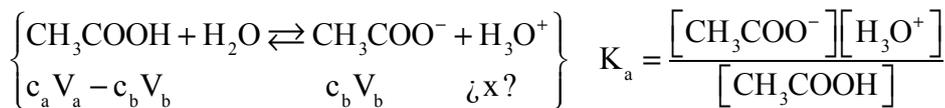


$$\left\{ \begin{array}{l} x^2 + K_a x - K_a c_a = 0 \\ x = \frac{-(10^{-4,75}) \pm \sqrt{(10^{-4,75})^2 + 4 \times 0,01 \times 10^{-4,75}}}{2} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} [\text{H}_3\text{O}^+] = x = 0,000413 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ \text{pH} = 3,38 \end{array} \right.$$



$$\left\{ \begin{array}{l} n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = c_a V_a = 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,100 \text{ L} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \\ n_{\text{NaOH}} = c_b V_b = 0,02 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,010 \text{ L} = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \end{array} \right\} \text{Reacciona el NaOH y queda CH}_3\text{COOH}$$

$$n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = \left( n_{\text{CH}_3\text{COOH}} \right)_{\text{inicial}} - n_{\text{NaOH}} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol} - 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$



$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} = K_a \frac{c_a V_a - c_b V_b}{c_b V_b} = 10^{-4,75} \times \frac{0,8 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 10^{-3}} \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 7,11 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$\text{pH} = 4,15$$

14) Diluimos 0,0100 mol de la sal cianuro de sodio hasta obtener 1,0 L de disolución a 25°C. Calcula el pH de la disolución. Datos:  $K_a(\text{HCN}) = 10^{-9,31}$ ;  $K_w = 10^{-14}$ . [10,65]

**Respuesta:**



$$K_{b(\text{CN}^-)} = \frac{K_w}{K_{a(\text{HCN})}} = \frac{[\text{HCN}][\text{OH}^-]}{[\text{CN}^-]} = \frac{10^{-14}}{10^{-9,31}} = 10^{-4,69}$$

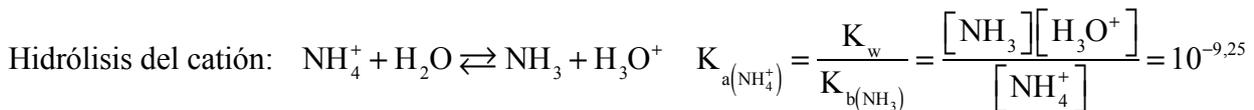
$\text{CN}^-$	$\text{HCN}$	$\text{OH}^-$
$c_{\text{sal}} - x$	$x$	$x$
$c_s(1 - \alpha_h)$	$c_s \alpha_h$	$c_s \alpha_h$

$$K_{b(\text{CN}^-)} = \frac{x^2}{c_s - x}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x^2 + K_{b(\text{CN}^-)}x - K_{b(\text{CN}^-)}c_s = 0 \\ x = \frac{-(10^{-4,69}) \pm \sqrt{(10^{-4,69})^2 + 4 \times 10^{-4,69} \times 0,010}}{2} = 4,417 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} [\text{OH}^-] = x = 4,417 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ \text{pOH} = 3,35 \\ \text{pH} = 10,65 \end{array} \right.$$

**15)** Una disolución de la sal cloruro de amonio tiene un pH de 6,21 a 25°C. Calcula la concentración de la sal. Datos:  $K_b(\text{NH}_3) = 10^{-4,75}$ ;  $K_w = 10^{-14}$ . [ $6,77 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$ ]

**Respuesta:**



$\text{NH}_4^+$	$\text{NH}_3$	$\text{H}_3\text{O}^+$
$c_{\text{sal}} - x$	$x$	$x = 10^{-6,21} \text{ M}$
$c_s(1 - \alpha_h)$	$c_s \alpha_h$	$c_s \alpha_h$

$$K_{a(\text{NH}_4^+)} = \frac{x^2}{c_s - x}$$

$$c_s = \frac{x^2}{K_{a(\text{NH}_4^+)}} + x = \frac{(10^{-6,21})^2}{10^{-9,25}} + 10^{-6,21} = 6,77 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

**16)** Tenemos una disolución de concentración 0,020 M a 25°C de la sal acetato de sodio. Calcula: a) el pH; b) el grado de hidrólisis del anión acetato. Datos:  $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 10^{-4,75}$ ;  $\text{p}K_w = 14,0$ . [a) pH = 8,53; b)  $1,7 \cdot 10^{-4}$ ]

**Respuesta:**



$$K_{b(\text{CH}_3\text{COO}^-)} = \frac{K_w}{K_{a(\text{CH}_3\text{COOH})}} = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}$$

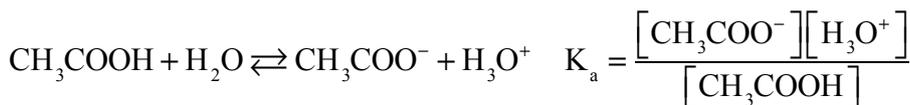
$\text{CH}_3\text{COO}^-$	$\text{CH}_3\text{COOH}$	$\text{OH}^-$
$c_{\text{sal}} - x$	$x$	$x$
$c_s(1 - \alpha_h)$	$c_s \alpha_h$	$c_s \alpha_h$

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{b(\text{CH}_3\text{COO}^-)} = \frac{K_w}{K_{a(\text{CH}_3\text{COOH})}} = \frac{10^{-14}}{10^{-4,75}} = 10^{-9,25} \\ K_{b(\text{CH}_3\text{COO}^-)} = \frac{x^2}{c_s - x} = \frac{(c_s \alpha_h)^2}{c_s(1 - \alpha_h)} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x^2 + K_b x - K_b c_s = 0 \\ x = \frac{-(10^{-9,25}) \pm \sqrt{(10^{-9,25})^2 + 4 \times 10^{-9,25} \times 0,02}}{2} \\ x = 3,35 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} [\text{OH}^-] = 3,35 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ \text{pH} = 14 - 5,47 = 8,53 \\ \alpha_h = \frac{x}{c_s} = \frac{3,35 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{0,02 \frac{\text{mol}}{\text{L}}} = 1,7 \cdot 10^{-4} \end{array} \right.$$

17) Tenemos una disolución reguladora que está formada por ácido acético y acetato de sodio, de concentraciones iguales a 0,500 M en el ácido y en la sal. Calcula el pH: a) de la disolución reguladora; b) resultante si a 1 L de la disolución reguladora le añadimos 0,020 mol de NaOH sólido; c) resultante si a 0,500 L de la disolución reguladora le añadimos 0,010 mol de HCl. Datos:  $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 10^{-4,75}$ ;  $K_w = 10^{-14}$ . [a) 4,75; b) 4,78; c) 4,72]

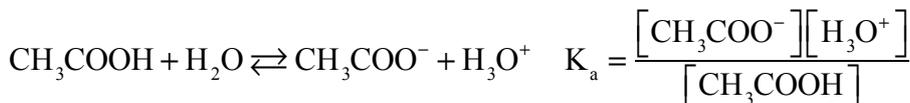
**Respuesta:**



$\text{CH}_3\text{COOH}$	$\text{CH}_3\text{COO}^-$	$\text{H}_3\text{O}^+$
$[\text{CH}_3\text{COOH}] = 0,5 \text{ M}$	$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = 0,5 \text{ M}$	$x$

$$\left\{ \begin{array}{l} [\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} \\ \text{pH} = \text{p}K_a = 4,75 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-4,75} \times \frac{0,5}{0,5} = 10^{-4,75} \end{array} \right.$$

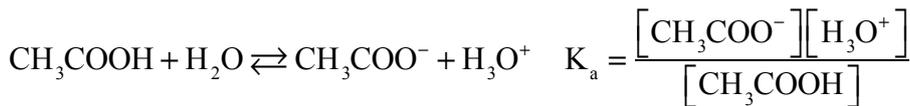
0,020 mol NaOH :



$[\text{CH}_3\text{COOH}]$	$[\text{CH}_3\text{COO}^-]$	$[\text{H}_3\text{O}^+]$
$\frac{n_{\text{CH}_3\text{COOH}} - n_{\text{NaOH}}}{V}$	$\frac{n_{\text{CH}_3\text{COO}^-} + n_{\text{NaOH}}}{V}$	$x$
$\frac{(0,5 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 1\text{L}) - 0,02 \text{ mol}}{1\text{L}} = 0,48 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$	$\frac{(0,5 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 1\text{L}) + 0,02 \text{ mol}}{1\text{L}} = 0,52 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$	

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} = 10^{-4,75} \times \frac{0,48}{0,52} = 1,64 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \{\text{pH} = 4,78\}$$

0,010 mol HCl:



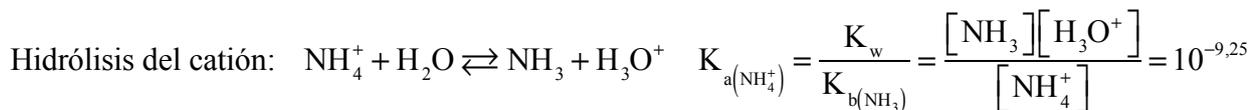
$[\text{CH}_3\text{COOH}]$	$[\text{CH}_3\text{COO}^-]$	$[\text{H}_3\text{O}^+]$
$\frac{n_{\text{CH}_3\text{COOH}} + n_{\text{HCl}}}{V}$	$\frac{n_{\text{CH}_3\text{COO}^-} - n_{\text{HCl}}}{V}$	x
$\frac{(0,5 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,5 \text{L}) + 0,010 \text{ mol}}{0,5 \text{L}} = 0,52 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$	$\frac{(0,5 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,5 \text{L}) - 0,010 \text{ mol}}{0,5 \text{L}} = 0,48 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$	

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} = 10^{-4,75} \times \frac{0,52}{0,48} = 1,926 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \{\text{pH} = 4,715\}$$

**18)** ¿Cuántos gramos de cloruro de amonio son requeridos para preparar 250 mL de una disolución que tenga un pH de 5,5 a 25° C?. Datos:  $K_b(\text{NH}_3) = 10^{-4,75}$ ;  $K_w = 10^{-14}$ ; (Cl) = 35,5; (N) = 14; (H) = 1. [0,238 g]

**Respuesta:**

Disolución de la sal:  $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{s}) \rightarrow \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$



$\text{NH}_4^+$	$\text{NH}_3$	$\text{H}_3\text{O}^+$
$c_{\text{sal}} - x$	x	$x = 10^{-5,5} \text{ M}$
$c_s (1 - \alpha_h)$	$c_s \alpha_h$	$c_s \alpha_h$

$$K_{a(\text{NH}_4^+)} = \frac{x^2}{c_s - x} \left\{ \begin{array}{l} c_s = \frac{x^2}{K_{a(\text{NH}_4^+)}} + x = \\ c_s = \frac{(10^{-5,5})^2}{10^{-9,25}} + 10^{-5,5} = 0,0178 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{array} \right.$$

$$m = n_s \text{Pm}(\text{NH}_4\text{Cl}) = c_s V \text{Pm}(\text{NH}_4\text{Cl}) \quad \left\{ m = 0,0178 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,250 \text{ L} \times 53,5 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0,238 \text{ g} \right.$$

**19)** ¿Cuántos gramos del compuesto acetato de sodio trihidratado, de fórmula  $\text{NaCH}_3\text{COO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , se han de añadir a 200 mL de una disolución de ácido acético, de concentración 0,0500 M y a 25° C, para aumentar el pH en una unidad?. Datos:  $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 10^{-4,75}$ ;  $K_w = 10^{-14}$ ; (Na) = 23; (C) = 12; (O) = 16; (H) = 1. [0,2558 g]

**Respuesta:**

Equilibrio del ácido acético  $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_3\text{O}^+$

$\text{CH}_3\text{COOH}$	$\text{CH}_3\text{COO}^-$	$\text{H}_3\text{O}^+$
$c_a - x$	x	x

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{x^2}{c_a - x}$$

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = 10^{-4,75} = \frac{x^2}{0,0500 - x} \approx \frac{x^2}{0,0500}$$

$$x = \sqrt{10^{-4,75} \times 0,0500} = 9,43 \cdot 10^{-4} \quad \left\{ \begin{array}{l} x = [\text{H}_3\text{O}^+] = 9,43 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ \text{pH} = -\log(9,43 \cdot 10^{-4}) = 3,03 \end{array} \right.$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{eq}} = x = 9,43 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \left\{ \begin{array}{l} n_{\text{H}_3\text{O}^+} = [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{eq}} \cdot V \\ n_{\text{H}_3\text{O}^+} = 9,43 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,200 \text{ L} = 1,886 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \end{array} \right.$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-]_{\text{eq}} = x = 9,43 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \left\{ \begin{array}{l} n_{\text{CH}_3\text{COO}^-} = [\text{CH}_3\text{COO}^-]_{\text{eq}} \cdot V \\ n_{\text{CH}_3\text{COO}^-} = 1,886 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \end{array} \right.$$

$$[\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{eq}} = c_a - x = 0,0490 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \left\{ \begin{array}{l} n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = [\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{eq}} \cdot V \\ n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 0,0490 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,200 \text{ L} = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \end{array} \right.$$

Nuevo equilibrio del ácido acético  $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_3\text{O}^+$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] \quad \left\{ \begin{array}{l} n_{\text{H}_3\text{O}^+} = [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{eq}} \cdot V \\ n_{\text{H}_3\text{O}^+} = 10^{-(3,03+1)} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,200 \text{ L} \\ n_{\text{H}_3\text{O}^+} = 1,8665 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} -\Delta n_{\text{H}_3\text{O}^+} = (10^{-4,03} - 10^{-3,03}) \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,200 \text{ L} \\ -\Delta n_{\text{H}_3\text{O}^+} = -1,70 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \end{array} \right.$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] \quad \left\{ \begin{array}{l} n_{\text{Ac}^-} = n_{\text{Ac}^-(i)} + n_{\text{sal}} - \Delta n_{\text{H}_3\text{O}^+} \\ n_{\text{Ac}^-} = 1,886 \cdot 10^{-4} + n_{\text{sal}} - 1,70 \cdot 10^{-4} = 1,86 \cdot 10^{-5} + n_{\text{sal}} \end{array} \right.$$

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] \quad \left\{ \begin{array}{l} n_{\text{HAc}} = n_{\text{HAc}(i)} + \Delta n_{\text{H}_3\text{O}^+} \\ n_{\text{HAc}} = (9,8 \cdot 10^{-3} + 1,70 \cdot 10^{-4}) \text{ mol} = 9,97 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \end{array} \right.$$

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = 10^{-4,75} = \frac{\left( \frac{1,86 \cdot 10^{-5} + n_{\text{sal}}}{0,200} \right) \times 10^{-4,03}}{\frac{9,97 \cdot 10^{-3}}{0,200}} = \frac{(1,86 \cdot 10^{-5} + n_{\text{sal}}) \times 10^{-4,03}}{9,97 \cdot 10^{-3}}$$

$$n_{\text{sal}} = \frac{10^{-4,75} \times 9,97 \cdot 10^{-3}}{10^{-4,03}} - 1,86 \cdot 10^{-5} = 1,88 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$m = 1,88 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \times 136 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0,2558 \text{ g NaCH}_3\text{COO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$$

**20)** Disponemos de dos matraces conteniendo cada uno 50 mL de una disolución de ácido acético de concentración 0,100 M. Calcula el pH en los siguientes casos: a) el inicial de cada uno; b) si el primero lo diluimos con agua hasta 1 L; c) si al segundo le añadimos 20,0 mL de una disolución de NaOH de concentración 0,050 M. Datos:  $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 10^{-4,75}$ ;  $K_w = 10^{-14}$ . [a) pH = 2,88; b) 3,53; c) 4,15]

**Respuesta:**

Equilibrio del ácido acético  $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_3\text{O}^+$

$\text{CH}_3\text{COOH}$	$\text{CH}_3\text{COO}^-$	$\text{H}_3\text{O}^+$	$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{x^2}{c_a - x}$
$c_a - x$	$x$	$x$	

$$K_a = 10^{-4,75} = \frac{x^2}{c_a - x} \approx \frac{x^2}{c_a} \quad \left\{ x = \sqrt{c_a K_a} = \sqrt{0,1 \times 10^{-4,75}} = 1,333 \cdot 10^{-3} \right.$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = x = 1,333 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \left\{ \text{pH} = 2,88 \right.$$

Diluimos 50 mL hasta 1 L:  $n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = c_a V_a = c'_a V'_a$

$$c'_a = \frac{c_a V_a}{V'_a} = \frac{0,100 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,050 \text{ L}}{1 \text{ L}} = 0,0050 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$\text{CH}_3\text{COOH}$	$\text{CH}_3\text{COO}^-$	$\text{H}_3\text{O}^+$	$K_a = \frac{x'^2}{c'_a - x'} = 10^{-4,75} = \frac{x'^2}{c'_a - x'} \approx \frac{x'^2}{c'_a}$
$c'_a - x'$	$x'$	$x'$	

$$x' = \sqrt{c'_a K_a} = \sqrt{5,0 \cdot 10^{-3} \times 10^{-4,75}} = 2,982 \cdot 10^{-4}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = x' = 2,982 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \left\{ \text{pH} = 3,53 \right.$$

A otro le añadimos 20,0 mL de una disolución de NaOH de concentración 0,050 M:

Equilibrio del  $\text{CH}_3\text{COOH}$   $\left\{ \begin{array}{l} \text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} \rightleftharpoons \text{NaCH}_3\text{COO} + \text{H}_2\text{O} \\ \text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_3\text{O}^+ \end{array} \right.$

$$\left. \begin{array}{l} n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = c_a V_a = 0,100 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,050 \text{ L} = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \\ n_{\text{NaOH}} = c_b V_b = 0,050 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,020 \text{ L} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \end{array} \right\} n_{\text{CH}_3\text{COOH}} > n_{\text{NaOH}}$$

Reacciona el NaOH y queda  $\text{CH}_3\text{COOH}$

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = \frac{(n_{\text{CH}_3\text{COOH}})_{\text{inicial}} - n_{\text{NaOH}}}{V_a + V_b} = \frac{5,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol} - 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,050 \text{ L} + 0,020 \text{ L}} = 0,057 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = \frac{1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,050 \text{ L} + 0,020 \text{ L}} = 0,0143 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$\text{CH}_3\text{COOH}$	$\text{CH}_3\text{COO}^-$	$\text{H}_3\text{O}^+$
$n_a = c_a V_a - c_b V_b = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$	$n_b = c_b V_b = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$	$x$
$c_a = \frac{c_a V_a - c_b V_b}{V_a + V_b} = 0,057 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$	$c_b = \frac{c_b V_b}{V_a + V_b} = 0,0143 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$	$\hat{c} [\text{H}_3\text{O}^+]$ ?

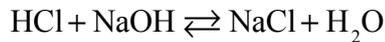
$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} \quad \left\{ \begin{array}{l} [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-4,75} \times \frac{4,0 \cdot 10^{-3}}{1,0 \cdot 10^{-3}} \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 7,113 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ \text{pH} = 4,15 \end{array} \right.$$

**21)** Calcula el pH de la disolución resultante al mezclar 50,0 mL de una disolución de HCl de concentración 0,0500 M con 50,0 mL de: a) agua; b) disolución 0,0400 M de NaOH; c) disolución 0,0250 M de hidróxido de bario; d) disolución 0,0500 M de amoníaco. Dato:  $K_b(\text{NH}_3) = 10^{-4,75}$ . [a) 1,60; b) 2,3; c) 7,0; d) 5,43]

**Respuesta:**

$$c_a = \frac{n_{\text{HCl}}}{V_{\text{total}}} = \frac{0,050 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,050 \text{ L}}{0,050 \text{ L} + 0,050 \text{ L}} = 0,025 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{HCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cl}^- + \text{H}_3\text{O}^+ \\ [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{Cl}^-] = c_a \end{array} \right\}$$

$$\text{pH} = -\log c_a = -\log 0,025 = 1,60$$



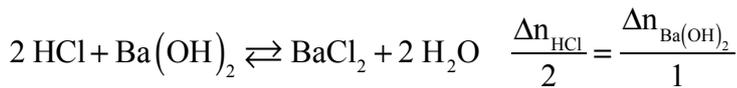
$$\left\{ \begin{array}{l} n_{\text{HCl}} = c_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}} = 0,050 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,050 \text{ L} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \\ n_{\text{NaOH}} = c_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}} = 0,040 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,050 \text{ L} = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \end{array} \right\} n_{\text{HCl}} > n_{\text{NaOH}}$$

Reacciona todo el NaOH y queda HCl

$$n_{\text{HCl}} = (n_{\text{HCl}})_{\text{inicial}} - 1 \times n_{\text{NaOH}} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol} - 1 \times 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

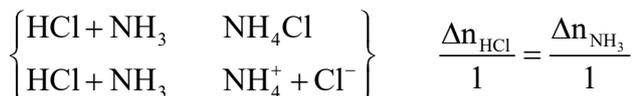
$$c_a = \frac{n_{\text{HCl}}}{V_{\text{total}}} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,050 \text{ L} + 0,050 \text{ L}} = 0,005 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{HCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cl}^- + \text{H}_3\text{O}^+ \\ [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{Cl}^-] = c_a \end{array} \right\}$$

$$\text{pH} = -\log c_a = -\log 0,005 = 2,3$$



$$\left\{ \begin{array}{l} n_{\text{HCl}} = c_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}} = 0,050 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,050 \text{ L} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \\ n_{\text{Ba}(\text{OH})_2} = c_{\text{Ba}(\text{OH})_2} V_{\text{Ba}(\text{OH})_2} = 0,025 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,050 \text{ L} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \end{array} \right\} n_{\text{HCl}} = 2n_{\text{Ba}(\text{OH})_2}$$

Reacciona todo el HCl con todo el Ba(OH)<sub>2</sub> añadido, se forma la sal BaCl<sub>2</sub> (pH=7)



$$\left\{ \begin{array}{l} n_{\text{HCl}} = c_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}} = 0,050 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,050 \text{ L} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \\ n_{\text{NH}_3} = c_{\text{NH}_3} V_{\text{NH}_3} = 0,050 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,050 \text{ L} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \end{array} \right\} n_{\text{HCl}} = n_{\text{NH}_3}$$

Reacciona todo el HCl con todo el NH<sub>3</sub> añadido y se forma NH<sub>4</sub>Cl que se hidroliza.

Se procede la disolución de la sal y la hidrólisis del catión NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:

$$c_{\text{NH}_4\text{Cl}} = \frac{n_{\text{NH}_4\text{Cl}}}{V_{\text{total}}} = \frac{2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,100 \text{ L}} = 0,025 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \left\{ \text{NH}_4\text{Cl} \rightarrow \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \right\}$$

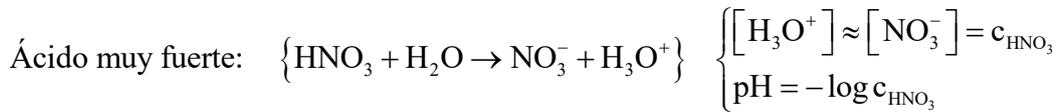
$$\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}_3\text{O}^+ \quad K_{a(\text{NH}_4^+)} = \frac{K_w}{K_{b(\text{NH}_3)}} = \frac{[\text{NH}_3][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{NH}_4^+]} = 10^{-9,25}$$

NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>
c <sub>s</sub> - x	x	x
c <sub>s</sub> (1 - α <sub>h</sub> )	c <sub>s</sub> α <sub>h</sub>	c <sub>s</sub> α <sub>h</sub>

$$K_{a(\text{NH}_4^+)} = \frac{x^2}{c_s - x} \quad \left\{ \begin{array}{l} x^2 + K_{a(\text{NH}_4^+)}x - K_{a(\text{NH}_4^+)}c_s = 0 \\ x = [\text{H}_3\text{O}^+] = 3,75 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ \text{pH} = 5,4 \end{array} \right\}$$

**22)** Calcula el pH resultante al mezclar volúmenes iguales de tres disoluciones de ácido nítrico (ácido muy fuerte) que tienen de pH 1,2, 2,0 y 4,0, respectivamente. [1,6]

**Respuesta:**

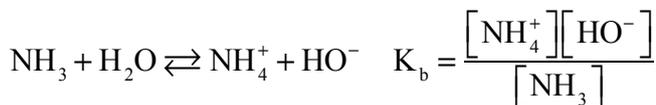


$$\text{Datos } \left\{ [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \right\} \begin{cases} [\text{H}_3\text{O}^+]_1 = 10^{-1,2} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ [\text{H}_3\text{O}^+]_2 = 10^{-2} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ [\text{H}_3\text{O}^+]_3 = 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{cases} \begin{cases} V_1 = V_2 = V_3 = V \\ c_{\text{HNO}_3} = \frac{(n_{\text{HNO}_3})_{\text{total}}}{V_{\text{total}}} \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{aligned} c_{\text{HNO}_3} &= \frac{n_{1(\text{HNO}_3)} + n_{2(\text{HNO}_3)} + n_{3(\text{HNO}_3)}}{V_1 + V_2 + V_3} = \frac{c_1 V_1 + c_2 V_2 + c_3 V_3}{V_1 + V_2 + V_3} \\ c_{\text{HNO}_3} &= \frac{c_1 V + c_2 V + c_3 V}{3V} = \frac{c_1 + c_2 + c_3}{3} = \frac{10^{-1,2} + 10^{-2} + 10^{-4}}{3} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{aligned} \right\} \begin{cases} c_{\text{HNO}_3} = 0,0244 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ \text{pH} = 1,6 \end{cases}$$

**23)** Calcula el cambio en el pH de 200 mL de una disolución reguladora, formada de amoníaco 0,170 M y de cloruro de amonio 0,187 M, cuando se le añaden: a) 20,0 mL de una disolución de HCl de concentración 0,100 M; b) 20,0 mL de una disolución de NaOH de concentración 0,100 M. Dato:  $K_b(\text{NH}_3) = 10^{-4,75}$ . [a)  $\text{pH}_i = 9,21$ ;  $\text{pH}_f = 9,16$ ; b)  $\text{pH}_f = 9,26$ ]

**Respuesta:**



NH <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	HO <sup>-</sup>
[NH <sub>3</sub> ] = 0,170 M	[NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ] = 0,187 M	x

$$\left\{ \begin{aligned} [\text{HO}^-] &= K_b \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} \\ [\text{HO}^-] &= 10^{-4,75} \times \frac{0,170}{0,187} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{aligned} \right.$$

$$[\text{HO}^-] = 1,62 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \Rightarrow \text{pH} = 14 - \text{pOH} = 9,21$$

Añadimos 20 mL de HCl 0,10 M: El ácido HCl reacciona con la base NH<sub>3</sub> y se produce su ácido conjugado NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

NH <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	OH <sup>-</sup>
$[\text{NH}_3] = \frac{n_{\text{NH}_3} - n_{\text{HCl}}}{V_{\text{total}}}$	$[\text{NH}_4^+] = \frac{n_{\text{NH}_4^+} + n_{\text{HCl}}}{V_{\text{total}}}$	x

$$[\text{NH}_3] = \frac{0,170 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,20 \text{ L} - 0,10 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,020 \text{ L}}{0,20 \text{ L} + 0,020 \text{ L}} = 0,145 \text{ M}$$

$$[\text{NH}_4^+] = \frac{0,187 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,20 \text{ L} + 0,10 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,020 \text{ L}}{0,20 \text{ L} + 0,020 \text{ L}} = 0,179 \text{ M}$$

$$[\text{HO}^-] = K_b \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} \quad \left\{ \begin{array}{l} [\text{HO}^-] = 10^{-4,75} \times \frac{0,145}{0,179} \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 1,44 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ \text{pH} = 14 - \text{pOH} = 9,16 \end{array} \right.$$

Añadimos 20 mL de NaOH 0,10 M:

El NaOH reacciona con el ácido  $\text{NH}_4^+$  y se produce la base conjugada  $\text{NH}_3$

$\text{NH}_3$	$\text{NH}_4^+$	$\text{HO}^-$
$[\text{NH}_3] = \frac{n_{\text{NH}_3} + n_{\text{NaOH}}}{V_{\text{total}}}$	$[\text{NH}_4^+] = \frac{n_{\text{NH}_4^+} - n_{\text{NaOH}}}{V_{\text{total}}}$	x

$$[\text{NH}_3] = \frac{0,170 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,20 \text{ L} + 0,10 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,020 \text{ L}}{0,20 \text{ L} + 0,020 \text{ L}} = 0,1636 \text{ M}$$

$$[\text{NH}_4^+] = \frac{0,187 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,20 \text{ L} - 0,10 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,020 \text{ L}}{0,20 \text{ L} + 0,020 \text{ L}} = 0,1609 \text{ M}$$

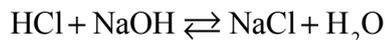
$$[\text{HO}^-] = K_b \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} \quad \left\{ \begin{array}{l} [\text{HO}^-] = 10^{-4,75} \times \frac{0,1636}{0,1609} \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 1,81 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ \text{pH} = 14 - \text{pOH} = 9,26 \end{array} \right.$$

24) Determina la curva de titulación de 50,0 mL de una disolución de HCl de concentración 0,100 M con una disolución de NaOH estándar 0,100 M, al añadirle los volúmenes, en mL, de NaOH siguientes: 1; 5; 10; 20; 30; 40; 45; 49; 49,9; 50; 50,1; 51. Resultados del problema:

mL de NaOH	0	1	5	10	20	30	40	45	49	49,9	50	50,1	51
pH		1	1,1	1,2	1,4	1,6	2	2,3	3	4	7	10	11

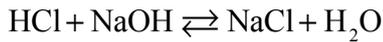
**Respuesta:**

En la titulación es muy importante determinar el denominado **punto de equivalencia** o **punto estequiométrico** de la reacción, que se alcanza cuando ha reaccionado todo el ácido a titular con la base titulante.



$$\text{P.E.: } n_{\text{HCl}} = n_{\text{NaOH}} \quad \left\{ c_a V_a = c_b V_b \right\} \quad \left\{ V_b = \frac{c_a V_a}{c_b} = \frac{0,10 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,050 \text{ L}}{0,10 \frac{\text{mol}}{\text{L}}} = 0,050 \text{ L} = 50 \text{ mL} \right.$$

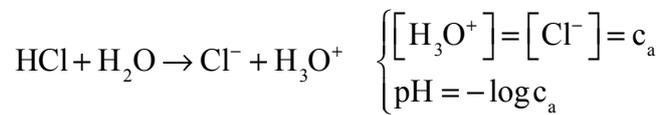
Antes del punto de equivalencia (PE) el pH se determina como una mezcla de ácido fuerte y base fuerte



Antes del PE:  $\{n_{\text{HCl}} > n_{\text{NaOH}}\}$

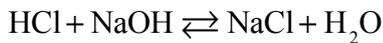
Reacciona todo el NaOH y queda HCl

$$c_a = \frac{n_{\text{HCl}}}{V_{\text{total}}} = \frac{c_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}} - c_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}}}{V_{\text{HCl}} + V_{\text{NaOH}}} = \frac{0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,050 \text{ L} - 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times V_{\text{NaOH}}}{0,050 \text{ L} + V_{\text{NaOH}}}$$



En el PE ha reaccionado todo el ácido con la base y se forma una sal de ácido fuerte y base fuerte que produce un  $\text{pH} = 7$ .

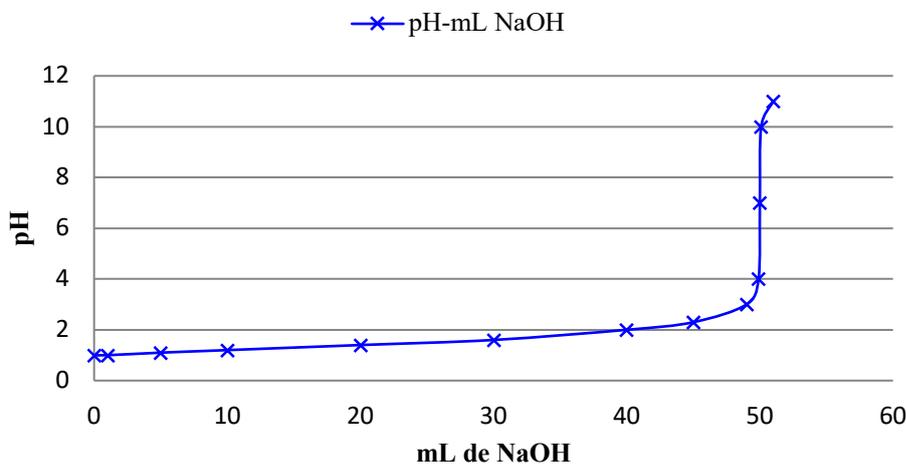
Después del PE hay exceso de base ya que ha reaccionado todo el ácido



Después del PE:  $\{n_{\text{HCl}} < n_{\text{NaOH}}\}$  Ha reaccionado todo el HCl y queda el NaOH

$$\left\{ \begin{array}{l} c_{\text{NaOH}} = \frac{n_{\text{NaOH}}}{V_{\text{total}}} = \frac{c_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}} - c_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}}}{V_{\text{HCl}} + V_{\text{NaOH}}} \\ c_{\text{NaOH}} = \frac{0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times V_{\text{NaOH}} - 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,050 \text{ L}}{0,050 \text{ L} + V_{\text{NaOH}}} \end{array} \right\} \quad \left\{ \begin{array}{l} [\text{HO}^-] = c_{\text{NaOH}} \\ \text{pH} = 14 - \text{pOH} \end{array} \right.$$

### Titulación de HCl con NaOH

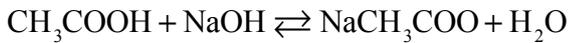


25) Determina la curva de titulación de 50,0 mL de una disolución de ácido acético de concentración 0,100 M con una disolución de NaOH estándar 0,100 M, al añadirle los volúmenes, en mL, de NaOH siguientes: 1; 5; 10; 20; 30; 40; 45; 49; 49,9; 50; 50,1; 51. Datos:  $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 10^{-4,75}$ ;  $K_w = 10^{-14}$ . Resultados del problema:

mL de NaOH	0	1	5	10	20	30	40	45	49	49,9	50	50,1	51
pH(CH <sub>3</sub> COOH)	2,9	3,2	3,8	4,1	4,6	4,9	5,3	5,7	6,4	7,4	8,7	10	11

**Respuesta:**

En la titulación es muy importante determinar el denominado **punto de equivalencia** o **punto estequiométrico** de la reacción, que se alcanza cuando ha reaccionado todo el ácido a titular con la base titulante. En el punto de equivalencia  $n_{A(\text{final})} = 0$  y  $n_{B(\text{final})} = 0$



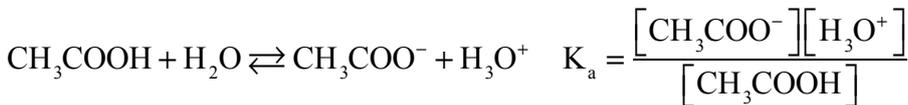
$$\text{P.E.: } n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = n_{\text{NaOH}} \quad \left\{ \begin{array}{l} c_a V_a = c_b V_b \\ V_b = \frac{c_a V_a}{c_b} = \frac{0,10 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,050 \text{ L}}{0,10 \frac{\text{mol}}{\text{L}}} = 0,050 \text{ L} = 50 \text{ mL} \end{array} \right.$$

El ácido acético es un ácido débil y se establecerá el equilibrio químico entre el ácido débil y su base conjugada. Antes del punto de equivalencia:



$$\text{Antes del PE: } \left\{ n_{\text{CH}_3\text{COOH}} > n_{\text{NaOH}} \right\}$$

Reacciona todo el NaOH y queda  $\text{CH}_3\text{COOH}$  que es un ácido débil:

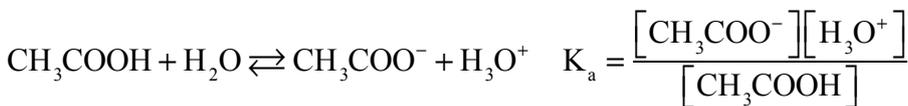
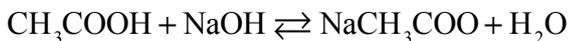


$\text{CH}_3\text{COOH}$	$\text{CH}_3\text{COO}^-$	$\text{H}_3\text{O}^+$
$\frac{n_{\text{CH}_3\text{COOH}} - n_{\text{NaOH}}}{V_{\text{total}}}$	$\frac{n_{\text{NaOH}}}{V_{\text{total}}}$	x

$$\left\{ \begin{array}{l} [\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} \\ [\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \frac{n_{\text{CH}_3\text{COOH}} - n_{\text{NaOH}}}{n_{\text{NaOH}}} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} [\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \frac{c_{\text{CH}_3\text{COOH}} V_{\text{CH}_3\text{COOH}} - c_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}}}{c_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}}} \\ [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-4,75} \times \frac{0,10 \times 0,050 - 0,10 \times V_{\text{NaOH}}}{0,10 \times V_{\text{NaOH}}} \end{array} \right\} \quad \left\{ \text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] \right.$$

Si las concentraciones del ácido y de su base conjugada son iguales entonces



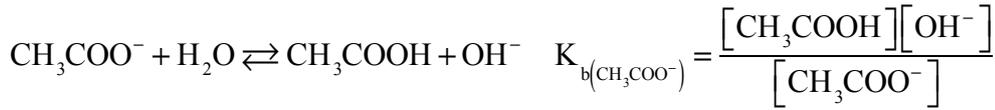
$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} \quad \left\{ \begin{array}{l} [\text{CH}_3\text{COOH}] = [\text{CH}_3\text{COO}^-] \\ [\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \Rightarrow \text{pH} = \text{p}K_a \end{array} \right.$$

**En el punto de equivalencia:** Se obtiene una sal de ácido débil y base fuerte y el pH será mayor que 7. Es decir, que el punto de equivalencia no coincide con el punto de neutralización. Todo el ácido  $\text{CH}_3\text{COOH}$  se ha transformado en la base conjugada  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ . Siendo la cantidad de sustancia de la base conjugada igual al del ácido inicial y su concentración

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = \frac{c_A V_A}{V_A + V_B}$$

El equilibrio nuevo en el punto de equivalencia:

Hidrólisis del anión:



$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = \frac{c_{\text{CH}_3\text{COOH}} V_{\text{CH}_3\text{COOH}}}{V_{\text{CH}_3\text{COOH}} + V_{\text{NaOH}}} = \frac{0,10 \times 0,050 \text{ mol}}{0,10 \text{ L}} = 0,050 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$\text{CH}_3\text{COO}^-$	$\text{CH}_3\text{COOH}$	$\text{OH}^-$
$c_{\text{sal}} - x$	$x$	$x$
$0,050 - x$	$x$	$x$

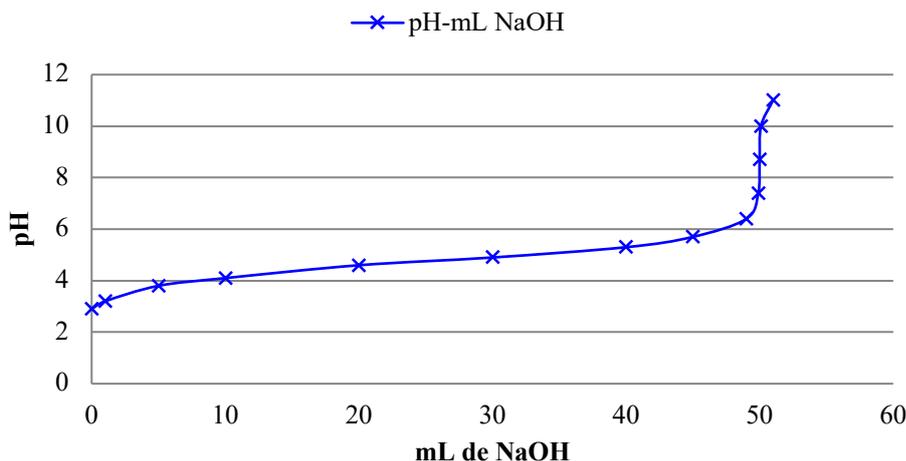
$$\left\{ \begin{array}{l} K_{b(\text{CH}_3\text{COO}^-)} = \frac{K_w}{K_{a(\text{CH}_3\text{COOH})}} \\ K_{b(\text{CH}_3\text{COO}^-)} = \frac{10^{-14}}{10^{-4,75}} = 10^{-9,25} = \frac{x^2}{c_s - x} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x^2 + K_b x - K_b c_s = 0 \\ x = \frac{-(10^{-9,25}) \pm \sqrt{(10^{-9,25})^2 + 4 \times 10^{-9,25} \times 0,05}}{2} = 5,30 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} [\text{OH}^-] = x = 5,30 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ \text{pH} = 14 - \text{pOH} = 8,72 \end{array} \right.$$

Después del punto de equivalencia

$$[\text{HO}^-] = \frac{n_{\text{NaOH}}}{V_{\text{total}}} = \frac{c_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}} - c_{\text{CH}_3\text{COOH}} V_{\text{CH}_3\text{COOH}}}{V_{\text{NaOH}} + V_{\text{CH}_3\text{COOH}}}$$

### Titración de $\text{CH}_3\text{COOH}$ con $\text{NaOH}$



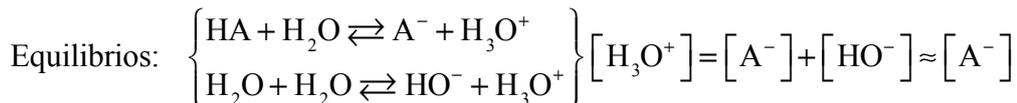
26) En los dos problemas anteriores, sobre las curvas de titulación, determina los puntos de equivalencia y los puntos de neutralización. Posteriormente, analiza cuál de los siguientes indicadores es el más conveniente para las titulaciones: a) fenolftaleína (8,0-9,8); b) timolftaleína (9,3-10,5); c) rojo fenol (6,8-8,2); d) azul de bromotimol (6,0-7,6).

**Respuesta:**

Para la titulación del HCl con NaOH como el punto de equivalencia se alcanza a pH = 7 el indicador más conveniente es el rojo fenol o el azul de bromotimol. En la titulación del ácido acético el punto de equivalencia se alcanza a pH = 8,7 por lo que el indicador más conveniente es la fenoftaleína.

27) A 25°C, una disolución acuosa de un ácido débil HA, tiene una constante de disociación de  $2,8 \cdot 10^{-7}$ . Calcule las concentraciones en el equilibrio de las distintas especies químicas presentes en una disolución acuosa 0,1 M de HA. Describa el material necesario y el procedimiento a seguir para preparar 100 mL de la disolución anterior, si se dispone de un litro de disolución de HA 1 M. [pH = 3,78;  $C_{HA} = 0,099$  M]

**Respuesta:**



HA	A <sup>-</sup>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>
$c_a - x$	$x$	$x$
$c_a(1 - \alpha)$	$c_a \alpha$	$c_a \alpha$

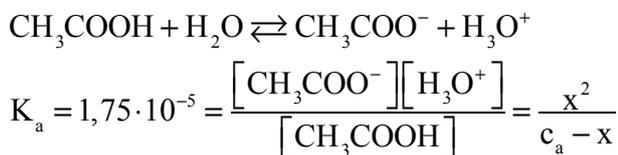
$$\left\{ K_a = 2,8 \cdot 10^{-7} = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = \frac{x^2}{c_a - x} \right\}$$

$$\{K_a < 10^{-6} \Rightarrow x \ll c_a\} \quad K_a \approx \frac{x^2}{c_a}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x^2 = K_a c_a \\ x = \sqrt{2,8 \cdot 10^{-7} \times 0,1} = 1,67 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{A}^-] = x = 1,67 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ \text{pH} = 3,78 \\ [\text{HA}] = (0,1 - 1,67 \cdot 10^{-4}) \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 0,0998 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{array} \right.$$

28) Calcule la masa de ácido acético que se debe disolver en agua para obtener 500 mL de una disolución que tenga un pH de 3,0. Describa el material y el procedimiento a seguir para preparar la disolución anterior. Datos:  $K_a = 1,75 \cdot 10^{-5}$ ; (H) = 1; (C) = 12; (O) = 16. [1,743 g]

**Respuesta:**



CH <sub>3</sub> COOH	CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>
$c_a - x$	$x$	$x$
$c_a - 10^{-3}$	$10^{-3}$ M	$10^{-3}$ M

$$\left\{ c_a = \frac{x^2}{K_a} + x = \frac{(10^{-3})^2}{1,75 \cdot 10^{-5}} + 10^{-3} = 0,0581 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \right.$$

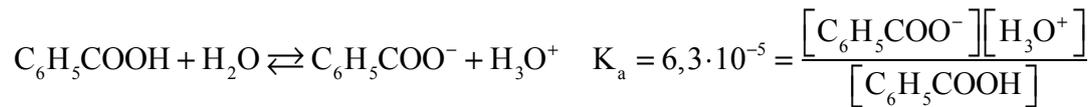
$$m_{\text{CH}_3\text{COOH}} = n_a \text{Pm}(\text{CH}_3\text{COOH}) = c_a V \text{Pm}(\text{CH}_3\text{COOH})$$

$$m_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 0,0581 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,50 \text{ L} \times 60 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 1,743 \text{ g}$$

**29)** Se dispone de 500 mL de una disolución que contiene 12,2 g de ácido benzoico. Calcula: i) la concentración en mol L<sup>-1</sup> y el valor del pH de la disolución; ii) la cantidad de hidróxido de sodio 0,05 M necesaria para alcanzar el punto de equivalencia en la valoración de todo el ácido benzoico contenido en 100 mL de la disolución anterior. Datos: K<sub>a</sub> (ácido benzoico) = 6,3 · 10<sup>-5</sup>; (H)=1; (C)=12; (O)=16; (Na)=23. [i) 0,2 M y pH = 2,45; ii) 400 mL]

**Respuesta:**

$$[C_6H_5COOH]_0 = \frac{m_{C_6H_5COOH}}{Pm} = \frac{12,2 \text{ g}}{122 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,2 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$



CH <sub>3</sub> COOH	CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>
c <sub>a</sub> - x	x	x
0,2 - x	x	x

$$K_a = \frac{x^2}{c_a - x} = \frac{x^2}{0,2 - x}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x^2 + K_a x - K_a c_a = 0 \\ x = \frac{-K_a \pm \sqrt{(K_a)^2 + 4K_a c_a}}{2} = 3,52 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} [C_6H_5COOH]_{eq} = c_a - x \\ [C_6H_5COO^-]_{eq} = 0,2 \frac{\text{mol}}{\text{L}} - 3,52 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ [C_6H_5COOH]_{eq} = 0,196 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{array} \right.$$

$$[H_3O^+] = x = 3,52 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \Rightarrow \text{pH} = -\log[H_3O^+] = 2,45$$

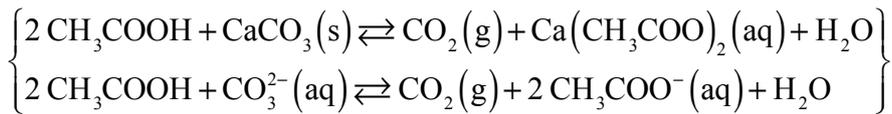


$$\text{P.E.: } n_{C_6H_5COOH} = n_{NaOH} \quad \left\{ \begin{array}{l} c_a V_a = c_b V_b \\ V_b = \frac{c_a V_a}{c_b} = \frac{0,2 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,100 \text{ L}}{0,050 \frac{\text{mol}}{\text{L}}} = 0,400 \text{ L} = 400 \text{ mL} \end{array} \right.$$

**30)** Se desea determinar la pureza de un ácido acético comercial. Para ello se diluyen 60 g del mismo y a la disolución obtenida se le añaden 50 g de CaCO<sub>3</sub>. Cuando cesa el desprendimiento de CO<sub>2</sub>, se observa que quedan 2 g de CaCO<sub>3</sub> sin reaccionar. a) Haga un análisis del problema, indicando la estrategia que va a seguir para su resolución, así como los principios teóricos, leyes o conceptos en que se ha basado para decidirse por ese método de resolución. b) Calcule la pureza del ácido acético comercial en tanto por ciento en peso. Datos: Pm (CaCO<sub>3</sub>) = 100; Pm (CH<sub>3</sub>COOH) = 60. [96% de pureza]

**Respuesta:**

La reacción del ácido acético con la sal carbonato de calcio es una reacción ácido-base, siendo la base el anión carbonato procedente de la sal. Ello en base a la teoría de Brønsted-Lowry. Para solucionar el problema determinamos la cantidad de sustancia (el n° de moles) que ha reaccionado de la sal carbonato de calcio. Luego, utilizando la estequiometría de la reacción, la cantidad de sustancia de ácido acético que ha reaccionado. Posteriormente, determinamos la pureza del ácido acético comercial.



$$\frac{-\Delta n_{\text{CaCO}_3}}{1} = \frac{-\Delta n_{\text{CH}_3\text{COOH}}}{2}$$

$$-\Delta n_{\text{CaCO}_3} = \frac{-\Delta m_{\text{CaCO}_3}}{\text{Pm}} = \frac{50 \text{ g} - 2 \text{ g}}{100 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,48 \text{ mol CaCO}_3$$

$$-\Delta n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 2 \times (-\Delta n_{\text{CaCO}_3}) = 0,96 \text{ mol CH}_3\text{COOH}$$

$$m_{\text{CH}_3\text{COOH}} = n_{\text{CH}_3\text{COOH}} \times \text{Pm} = 0,96 \text{ mol} \times 60 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 57,6 \text{ g CH}_3\text{COOH}$$

$$\text{Pureza} = \frac{57,6 \text{ g CH}_3\text{COOH}}{60 \text{ g comercial}} \times 100 = 96\%$$

**31)** Se tienen dos disoluciones, una obtenida disolviendo 0,6 g de hidróxido de sodio en 100 mL de agua y otra de ácido sulfúrico 0,25 M. Determina: a) el pH de cada una; b) el pH de la disolución resultante al mezclar 50 mL de cada una. Datos: Pm (NaOH) = 40. [a] 13,18 y 0,30; b) 0,76]

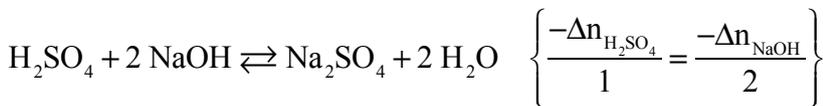
**Respuesta:**

$$c_{\text{NaOH}} = \frac{n_{\text{NaOH}}}{V} = \frac{\frac{m_{\text{NaOH}}}{\text{Pm}}}{V} = \frac{\frac{0,6 \text{ g}}{40 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}}{0,100 \text{ L}} = 0,15 \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 0,15 \text{ M}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{HO}^- \\ \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{HO}^- \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} [\text{HO}^-] = [\text{Na}^+] + [\text{H}_3\text{O}^+] \approx [\text{Na}^+] = c_{\text{NaOH}} \\ \text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 + \log c_{\text{NaOH}} = 13,18 \end{array} \right.$$

$$c_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,25 \text{ M} \left\{ \begin{array}{l} \text{H}_2\text{SO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + 2 \text{H}_3\text{O}^+ \\ \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HO}^- + \text{H}_3\text{O}^+ \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} [\text{H}_3\text{O}^+] = 2[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{HO}^-] \approx 2[\text{SO}_4^{2-}] = 2c_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,50 \text{ M} \\ \text{pH} = -\log 0,50 = 0,30 \end{array} \right.$$



$$\left\{ \begin{array}{l} n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = c_{\text{H}_2\text{SO}_4} V_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,25 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,050 \text{ L} = 0,0125 \text{ mol H}_2\text{SO}_4 \\ n_{\text{NaOH}} = c_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}} = 0,15 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0,050 \text{ L} = 0,0075 \text{ mol NaOH} \end{array} \right\}$$

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} > n_{\text{NaOH}}$$

Reacciona todo el NaOH y queda H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

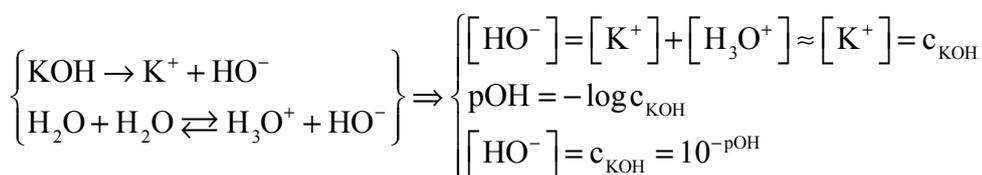
$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,0125 \text{ mol H}_2\text{SO}_4 - \Delta n_{\text{H}_2\text{SO}_4}$$

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,0125 \text{ mol} - \frac{\Delta n_{\text{NaOH}}}{2} = 0,0125 \text{ mol} - \frac{0,0075 \text{ mol}}{2} = 0,00875 \text{ mol H}_2\text{SO}_4$$

$$\left\{ \begin{array}{l} [\text{H}_3\text{O}^+] = 2c_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 2 \frac{n_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{V_t} = 2 \times \frac{0,00875 \text{ mol}}{0,100 \text{ L}} = 0,175 \text{ M} \\ \text{pH} = -\log 0,175 = 0,76 \end{array} \right.$$

**32)** El pH de una disolución de hidróxido de potasio es 12. Calcule: a) la masa de hidróxido de potasio sólido usados en su preparación de 1 L de disolución y describa el material necesario para ello; b) el volumen de agua que hay que añadir a 1 L de la disolución anterior para que su pH sea 11. Dato: Pm (KOH) = 56. [a) 0,56 g; b) 9 L]

**Respuesta:**



$$\text{pH} = 12 \left\{ \begin{array}{l} \text{pOH} = 14 - \text{pH} = 14 - 12 = 2 \\ [\text{HO}^-] = c_{\text{KOH}} = 10^{-2} \text{ M} = 0,010 \text{ M} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} n_{\text{KOH}} = c_{\text{KOH}} V \\ n_{\text{KOH}} = 0,010 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 1 \text{ L} = 0,010 \text{ mol} \\ m_{\text{KOH}} = n_{\text{KOH}} Pm \\ m_{\text{KOH}} = 0,010 \text{ mol} \times 56 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0,56 \text{ g KOH} \end{array} \right.$$

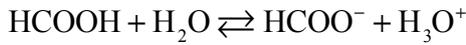
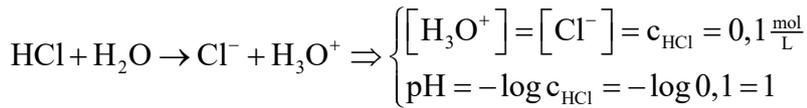
$$\text{pH} = 11 \left\{ \begin{array}{l} \text{pOH} = 14 - \text{pH} = 14 - 11 = 3 \\ c'_{\text{KOH}} = 10^{-3} \text{ M} = 0,001 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} V' = \frac{n_{\text{KOH}}}{c'_{\text{KOH}}} = \frac{0,010 \text{ mol}}{0,001 \frac{\text{mol}}{\text{L}}} = 10 \text{ L} \\ \Delta V = V' - V = 9 \text{ L} \end{array} \right.$$

**33)** A temperatura ambiente, la densidad de una disolución de ácido sulfúrico del 24% de riqueza en peso es 1,17 g/mL. Calcule: a) la concentración en mol/L o molaridad de la disolución; b) el volumen de disolución necesario para neutralizar 100 mL de disolución 2,5 M de KOH. Datos: Pa(S) = 32; (O) = 16; (H) = 1.

**34)** a) Calcule el volumen de agua que hay que añadir a 100 mL de una disolución 0,5 M de NaOH para que sea 0,3 M. b) Si a 50 mL de una disolución 0,3 M de NaOH añadimos 50 mL de otra de HCl 0,1 M, ¿qué pH tendrá la disolución resultante?. Suponga que los volúmenes son aditivos.

**35)** Disponemos de dos matraces: uno contiene 50 mL de una disolución acuosa de HCl 0'10 M, y el otro, 50 mL de una disolución acuosa de HCOOH diez veces más concentrado que el primero. Calcule: a) el pH de cada una de las disoluciones; b) el volumen de agua que se debe añadir a la disolución más ácida para que el pH de las dos sea el mismo. Dato:  $K_a(\text{HCOOH}) = 1'8 \cdot 10^{-4}$ . [a) pH = 1; pH = 1,88; b) 328,8 mL]

**Respuesta:**



$$K_a = 1,8 \cdot 10^{-4} = \frac{[\text{HCOO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HCOOH}]} = \frac{x^2}{c_a - x} \quad \left\{ \begin{array}{l} x^2 + K_a x - K_a c_a = 0 \\ x = \frac{-K_a \pm \sqrt{(K_a)^2 + 4K_a c_a}}{2} = 0,0132 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{array} \right.$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{eq}} = x = 0,0132 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \Rightarrow \text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,88$$

$$\begin{cases} \text{pH}_{(\text{HCl})} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \\ [\text{H}_3\text{O}^+]_{(\text{HCl})} = 10^{-\text{pH}} = 10^{-1} \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{pH}_{(\text{HCOOH})} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,88 \\ [\text{H}_3\text{O}^+]_{(\text{HCOOH})} = 10^{-\text{pH}} = 10^{-1,88} \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 0,0132 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{cases}$$

$$\text{pH}_{(\text{HCl})} > \text{pH}_{(\text{HCOOH})} \Rightarrow \text{pH}'_{(\text{HCl})} = 1,88$$

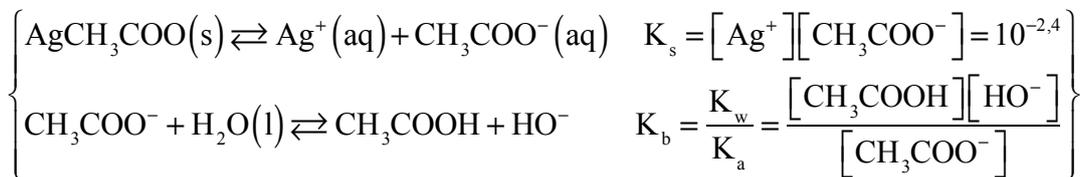
$$n_{\text{H}_3\text{O}^+} = [\text{H}_3\text{O}^+]_{(\text{HCl})} \cdot V = [\text{H}_3\text{O}^+]'_{(\text{HCl})} \cdot V'$$

$$V' = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{(\text{HCl})} \cdot V}{[\text{H}_3\text{O}^+]'_{(\text{HCl})}} = \frac{0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 50 \text{ mL}}{0,0132 \frac{\text{mol}}{\text{L}}} = 378,8 \text{ mL} \Rightarrow \Delta V = V' - V = 328,8 \text{ mL}$$

### **Problemas resueltos de disoluciones acuosas de sales como equilibrios ácido-base**

**1)** Calcula la solubilidad del acetato de plata ( $\text{AgCH}_3\text{COO}$ ) a  $25^\circ\text{C}$ , en el seno de las disoluciones amortiguadoras siguientes: a)  $\text{pH} = 2$ ; b)  $\text{pH} = 6$ ; c)  $\text{pH} = 11$ . Datos:  $\text{pK}_s(\text{AgCH}_3\text{COO}) = 2,4$ ;  $\text{pK}_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,75$ . [a) 1,50 M; b) 0,065 M; c) 0,063 M]

**Respuesta:**



$$s = [\text{AgCH}_3\text{COO}(\text{aq})] = [\text{Ag}^+] = [\text{CH}_3\text{COO}^-] + [\text{CH}_3\text{COOH}]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} s = [\text{CH}_3\text{COO}^-] + \frac{K_w}{K_a} \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{HO}^-]} \\ s = [\text{CH}_3\text{COO}^-] \left( 1 + \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{K_a} \right) \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} [\text{Ag}^+] = s \\ [\text{CH}_3\text{COO}^-] = \frac{s}{1 + \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{K_a}} \end{array} \right.$$

$$\left\{ K_s = [\text{Ag}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-] = s \cdot \frac{s}{1 + \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{K_a}} \right\} \quad s = \sqrt{K_s \left( 1 + \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{K_a} \right)}$$

$$\text{Datos: } \begin{cases} K_s = 10^{-2,4} \\ K_a = 10^{-4,75} \end{cases}$$

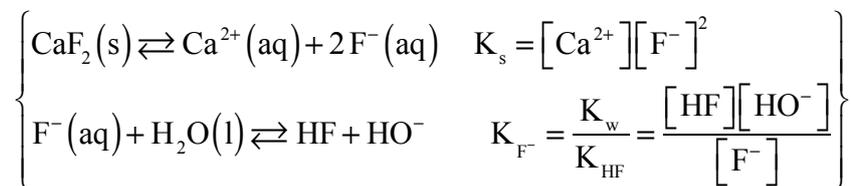
$$\text{pH} = 2 \quad \left\{ [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-2} \text{ M} \right\} \quad s = \sqrt{K_s \left( 1 + \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{K_a} \right)} = 1,49 \text{ M}$$

$$\text{pH} = 6 \quad \left\{ [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-6} \text{ M} \right\} \quad s = \sqrt{K_s \left( 1 + \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{K_a} \right)} = 0,065 \text{ M}$$

$$\text{pH} = 11 \quad \left\{ [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-11} \text{ M} \right\} \quad s = \sqrt{K_s \left( 1 + \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{K_a} \right)} = 0,063 \text{ M}$$

2) Calcula el pH de la disolución en el que la solubilidad de la sal fluoruro de calcio ( $\text{CaF}_2$ ) es igual a 100 mg/L ó 100 ppm. Datos:  $P_m(\text{CaF}_2) = 78,08$ ;  $K_a(\text{HF}) = 6,9 \cdot 10^{-4}$ ;  $K_s(\text{CaF}_2) = 1,7 \cdot 10^{-10}$ . [2,38]

**Respuesta:**



$$\left\{ \begin{array}{l} s = [\text{CaF}_2(\text{aq})] = [\text{Ca}^{2+}] = \frac{1}{2}([\text{F}^{-}] + [\text{HF}]) \\ s = \frac{1}{2} \left( [\text{F}^{-}] + \frac{K_w}{K_a} \frac{[\text{F}^{-}]}{[\text{HO}^{-}]} \right) = \frac{1}{2}[\text{F}^{-}] \left( 1 + \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{K_a} \right) \end{array} \right\} \quad \left\{ \begin{array}{l} [\text{Ca}^{2+}] = s \\ [\text{F}^{-}] = \frac{2s}{1 + \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{K_a}} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ K_s = [\text{Ca}^{2+}][\text{F}^{-}]^2 = \frac{4s^3}{\left( 1 + \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{K_a} \right)^2} \right\} \quad \left\{ \begin{array}{l} 1 + \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{K_a} = \sqrt{\frac{4s^3}{K_s}} \\ [\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \left( \sqrt{\frac{4s^3}{K_s}} - 1 \right) \end{array} \right\}$$

$$s = \frac{\frac{0,1 \text{ g}}{1 \text{ L}}}{78 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 1,28 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \left( \sqrt{\frac{4s^3}{K_s}} - 1 \right) = 6,9 \cdot 10^{-4} \times \left( \sqrt{\frac{4 \times (1,28 \cdot 10^{-3})^3}{1,7 \cdot 10^{-10}}} - 1 \right) = 4,16 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \{\text{pH} = 2,38\}$$

3) A una disolución de tricloruro de cromo ( $\text{CrCl}_3$ ) de concentración 0,0100 M se le añade hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) sólido hasta que el pH sea 6,50. Determine si precipitará el trihidróxido de cromo,  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ , si la solubilidad del  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  es de 0,13 mg/100 mL. Dato:  $\text{Pm}[\text{Cr}(\text{OH})_3] = 103,0$ . [No precipitará ya que  $Q_i < K_s$ ]

**Respuesta:**



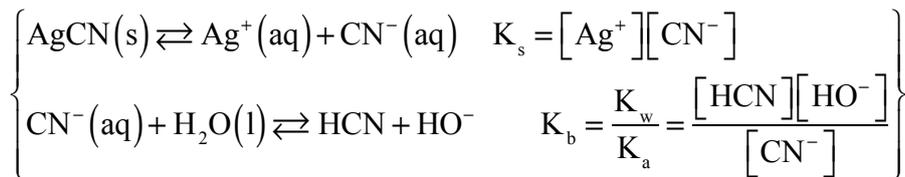
$$\left\{ \begin{array}{l} [\text{Cr}^{3+}] = 0,0100 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ \text{pH} = 6,5 \\ [\text{HO}^-] = 10^{-7,5} \text{ M} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} Q_i = [\text{Cr}^{3+}][\text{HO}^-]^3 \\ Q_i = [0,0100][10^{-7,5}]^3 = 3,16 \cdot 10^{-25} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} s = \frac{0,13 \cdot 10^{-3} \text{ g}}{103 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 1,26 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ s = [\text{Cr}(\text{OH})_3(\text{aq})] = [\text{Cr}^{3+}] = \frac{1}{3}[\text{HO}^-] \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} K_s = s(3s)^3 = 27s^4 \\ K_s = 6,80 \cdot 10^{-19} \end{array} \right.$$

$$Q_i = 3,16 \cdot 10^{-25} < K_s = 6,80 \cdot 10^{-19}$$

4) Calcula la solubilidad molar del cianuro de plata ( $\text{AgCN}$ ) en una disolución amortiguadora de valor de  $\text{pH} = 7,0$ . Datos:  $\text{p}K_s(\text{AgCN}) = 13,80$ ;  $\text{p}K_a(\text{HCN}) = 9,4$ . [ $2,0 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$ ]

**Respuesta:**



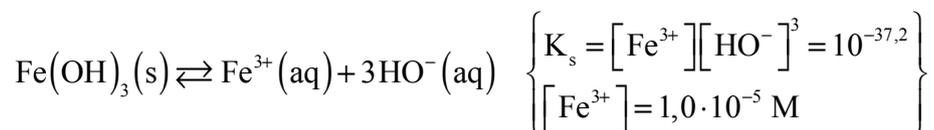
$$\left\{ \begin{array}{l} s = [\text{AgCN}(\text{aq})] = [\text{Ag}^+] = [\text{CN}^-] + [\text{HCN}] \\ s = [\text{CN}^-] + \frac{K_w}{K_a} \frac{[\text{CN}^-]}{[\text{HO}^-]} = [\text{CN}^-] \left( 1 + \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{K_a} \right) \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} [\text{Ag}^+] = s \\ [\text{CN}^-] = \frac{s}{1 + \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{K_a}} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} K_s = [\text{Ag}^+][\text{CN}^-] = s \times \frac{s}{1 + \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{K_a}} \end{array} \right\} s = \sqrt{K_s \left( 1 + \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{K_a} \right)}$$

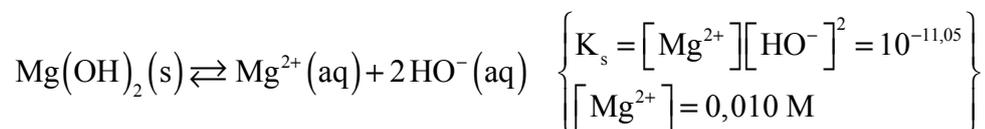
$$\text{Datos: } \left\{ \begin{array}{l} K_s = 10^{-13,8} \\ K_a = 10^{-9,4} \end{array} \right\} \text{pH} = 7 \left\{ [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-7} \text{ M} \right\} s = \sqrt{K_s \left( 1 + \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{K_a} \right)} = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ M}$$

5) Sea una disolución que contiene los cationes  $\text{Fe}^{3+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , con la misma concentración de valor  $[\text{Fe}^{3+}] = [\text{Mg}^{2+}] = 0,010 \text{ mol/L}$ . Queremos separar el catión  $\text{Fe}^{3+}$  del  $\text{Mg}^{2+}$ . Para ello sabemos que el  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  es mucho menos soluble que el  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , por lo que hacemos que el  $\text{Fe}^{3+}$  precipite en forma de hidróxido hasta que su concentración sea  $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$ , y que el  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  no haya precipitado aún. Calcula el intervalo de pH en el que hemos de mantener la disolución para que no precipite el  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Datos:  $\text{p}K_s[\text{Fe}(\text{OH})_3] = 37,2$ ;  $\text{p}K_s[\text{Mg}(\text{OH})_2] = 11,05$ . [Entre 3,26 y 9,48]

**Respuesta:**



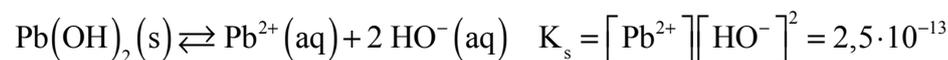
$$[\text{HO}^{-}] = \sqrt[3]{\frac{K_s}{[\text{Fe}^{3+}]}} = \sqrt[3]{\frac{10^{-37,2}}{1,0 \cdot 10^{-5}}} = 1,85 \cdot 10^{-11} \text{ M} \quad \{\text{pH} = 3,26\}$$



$$[\text{HO}^{-}] = \sqrt{\frac{K_s}{[\text{Mg}^{2+}]}} = \sqrt{\frac{10^{-11,05}}{0,010}} = 2,98 \cdot 10^{-5} \text{ M} \quad \{\text{pH} = 9,48\}$$

6) El producto de solubilidad del dihidróxido de plomo,  $\text{Pb}(\text{OH})_2$ , es de  $2,5 \cdot 10^{-13}$ , calcule: a) la solubilidad expresada en mol/L; b) el pH de la disolución saturada. [a)  $3,97 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$ ; b)  $\text{pH} = 9,9$ ]

**Respuesta:**



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Estequiometría: } -\Delta n_{\text{Pb}(\text{OH})_2} = \Delta n_{\text{Pb}^{2+}} = \frac{1}{2} \Delta n_{\text{HO}^{-}} \\ s = [\text{Pb}(\text{OH})_2(\text{aq})] = [\text{Pb}^{2+}] = \frac{1}{2} [\text{HO}^{-}] \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} K_s = s(2s)^2 = 4s^3 \\ s = \sqrt[3]{\frac{K_s}{4}} = 3,97 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{array} \right.$$

$$[\text{HO}^{-}(\text{aq})] = 2s = 7,94 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \{\text{pH} = 9,9\}$$

7) Una muestra de 7,33 g de cloruro de bario dihidratado puro, se disuelve en agua añadiéndosele después con una bureta disolución valorada de ácido sulfúrico. Esta última disolución tiene una concentración del 60% de riqueza en peso y una densidad aproximada de 1,5 g/mL. Se pide: a) formular la reacción que tiene lugar; b) la concentración en mol/L de la disolución de ácido sulfúrico; c) el volumen de esta en mL que se consumirá en la precipitación de todo el ion bario en la muestra.

## Cuestiones teóricas de ácido-base

1.- Razone la veracidad o falsedad de las siguientes afirmaciones: **a)** A igual molaridad, cuanto más débil es un ácido menor es el pH de sus disoluciones. **b)** A un ácido fuerte le corresponde una base conjugada débil. **c)** No existen disoluciones diluidas de un ácido fuerte.

- 2.- **a)** ¿Cuál es la concentración en  $\text{HNO}_3$  de una disolución cuyo pH es 1? **b)** Describa el procedimiento e indique el material necesario para preparar 100 mL de disolución de  $\text{HNO}_3$  0,01 M a partir de la anterior.
- 3.- Explique cuál o cuáles de las siguientes especies químicas, al disolverse en agua, formará disoluciones con pH menor que siete. **a)** HF. **b)**  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . **c)**  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .
- 4.- Tenemos 250 mL de una disolución de KOH 0'2 M. **a)** ¿Cuántos moles de KOH hay disueltos? **b)** ¿Cuántos gramos de KOH hay disueltos? **c)** Describa el procedimiento e indique el material necesario para preparar la disolución. Datos: masas atómicas: H = 1; O = 16; K = 39.
- 5.- **a)** ¿Cuál es el pH de 50 mL de una disolución de HCl 0'5 M? **b)** Si añadimos agua a los 50 mL de la disolución anterior hasta alcanzar un volumen de 500 mL, ¿cuál será el nuevo pH? **c)** Describa el procedimiento a seguir y el material necesario para preparar la disolución más diluida.
- 6.- Complete las ecuaciones siguientes e indique los pares ácido-base conjugados, según la teoría de Brönsted-Lowry: **a)**  $\text{CN}^- + \text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \dots$ ; **b)**  $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \dots$ ; **c)**  $\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \dots$
- 7.- **a)** Qué volumen de una disolución 0'1 M de ácido clorhídrico se necesitará para neutralizar 50 mL de una disolución 0'05 M de hidróxido de sodio. **b)** Escriba la reacción de neutralización. **c)** Describa el procedimiento e indique el material necesario para llevar a cabo la valoración anterior.
- 8.- En 500 mL de una disolución acuosa 0'1 M de NaOH. **a)**Cuál es la concentración de  $\text{OH}^-$ . **b)**Cuál es la concentración de  $\text{H}_3\text{O}^+$ . **c)**Cuál es su pH.
- 9.- Razone, mediante un ejemplo, si al disolver una sal en agua: **a)** Se puede obtener una disolución de pH básico. **b)** Se puede obtener una disolución de pH ácido. **c)** Se puede obtener una disolución de pH neutro.
- 10.- Dadas las siguientes especies químicas:  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{OH}^-$ , HCl,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NH}_3$  y  $\text{HNO}_3$ , justifique, según la teoría de Brönsted-Lowry: **a)** Cuáles pueden actuar sólo como ácidos. **b)** Cuáles pueden actuar sólo como bases. **c)** Cuáles pueden actuar como ácidos y como bases.
- 11.- En dos disoluciones de la misma concentración de dos ácidos débiles monopróticos HA y HB, se comprueba que  $[\text{A}^-]$  es mayor que la de  $[\text{B}^-]$ . Justifique la veracidad o falsedad de las afirmaciones siguientes: **a)** El ácido HA es más fuerte que HB. **b)** El valor de la constante de disociación del ácido HA es menor que el valor de la constante de disociación de HB. **c)** El pH de la disolución del ácido HA es mayor que el pH de la disolución del ácido HB.
- 12.- **a)** El pH de una disolución de un ácido monoprótico (HA) de concentración 0,0050 M es 2'3. ¿Se trata de un ácido fuerte o débil? Razone la respuesta. **b)** Explique si el pH de una disolución acuosa de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  es mayor, menor o igual a siete.
- 13.- De los ácidos débiles  $\text{HNO}_2$  y HCN, el primero es más fuerte que el segundo. **a)** Escriba sus reacciones de disociación en agua, especificando cuáles son sus bases conjugadas. **b)** Indique, razonadamente, cuál de las dos bases conjugadas es la más fuerte.
- 14.- **a)** ¿Qué significado tienen los términos fuerte y débil referidos a un ácido o a una base?. **b)** Si se añade agua a una disolución de pH = 4 ¿qué le ocurre a la concentración de  $\text{H}_3\text{O}^+$ ?
- 15.- Justifique si las siguientes afirmaciones son correctas: **a)** El ion  $\text{HSO}_4^-$  puede actuar como ácido según la teoría de Arrhenius. **b)** El ion  $\text{CO}_3^{2-}$  es una base según la teoría de Brönsted y Lowry.
- 16.- **a)** Explique el procedimiento a seguir, indicando el material de laboratorio necesario, para preparar 250 mL de una disolución acuosa 0'2 M de NaOH (masa molecular = 40). **b)** ¿Cuál es la concentración de  $\text{OH}^-$ ? **c)** ¿Cuál es su pH?

- 17.- a)** El pH de una disolución de un ácido monoprótico (HA) de concentración 0,0050 M es 2'3. ¿Se trata de un ácido fuerte o débil? Razone su respuesta. **b)** Razone si el pH de una disolución acuosa de NaCH<sub>3</sub>COO es mayor, menor o igual a 7.
- 18.-** Justifique el carácter ácido, básico o neutro de las disoluciones acuosas de las siguientes sales: **a)** KCl. **b)** NH<sub>4</sub>Cl.
- 19.-** Razone y, en su caso, ponga un ejemplo si al disolver una sal en agua se puede obtener: **a)** Una disolución de pH básico. **b)** Una disolución de pH ácido.
- 20.- a)** Escriba el equilibrio de ionización y la expresión de K<sub>b</sub> para una disolución acuosa de NH<sub>3</sub>. **b)** Justifique cualitativamente el carácter ácido, básico o neutro que tendrá una disolución acuosa de KCN, siendo K<sub>a</sub> (HCN) = 6'2·10<sup>-10</sup>. **c)** Indique todas las especies químicas presentes en una disolución acuosa de HCl.
- 21.- a)** Explique por qué el NaCH<sub>3</sub>COO genera pH básico en disolución acuosa. **b)** Indique cuál es el ácido conjugado de las siguientes especies, cuando actúan como base en medio acuoso: NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, OH<sup>-</sup>.
- 22.- a)** Escriba la reacción de neutralización entre Ca(OH)<sub>2</sub> y HCl. **b)** ¿Qué volumen de una disolución 0'2 M de Ca(OH)<sub>2</sub> se necesitará para neutralizar 50 mL de una disolución 0'1 M de HCl?. **c)** Describa el procedimiento e indique el material necesario para llevar a cabo la valoración anterior.
- 23.- a)** ¿Cuál es la concentración de H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> en 200 mL de una disolución acuosa 0'1 M de HCl?. **b)** ¿Cuál es el pH?. **c)** ¿Cuál será el pH de la disolución que resulta al diluir con agua la anterior hasta un litro?
- 24.- a)** ¿Cuál es el pH de 100 mL de una disolución acuosa de NaOH 0'01 M?. **b)** Si añadimos agua a la disolución anterior hasta un volumen de un litro ¿cuál será su pH?
- 25.-** Utilizando la teoría de Brönsted-Lowry, justifique el carácter ácido, básico o neutro de las disoluciones acuosas de las siguientes especies: **a)** CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>; **b)** Cl<sup>-</sup>; **c)** NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.
- 26.-** Complete las siguientes reacciones e indique, según la teoría de Brönsted-Lowry, las especies que actúan como ácido o como base, así como sus correspondientes pares conjugados: **a)** HCl + H<sub>2</sub>O ⇌ ...; **b)** NH<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O ⇌ ...; **c)** NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + H<sub>2</sub>O ⇌ ...
- 27.-** Justifique, mediante la formulación de las ecuaciones correspondientes, el carácter ácido, básico o neutro que presentarían las disoluciones acuosas de las siguientes sustancias: **a)** Cloruro de sodio. **b)** Cloruro de amonio. **c)** Acetato de sodio.
- 28.- a)** Describa el procedimiento e indique el material necesario para preparar 500 mL de una disolución acuosa de hidróxido de sodio 0'001 M a partir de otra 0'1 M. **b)** ¿Cuál es el pH de la disolución preparada?
- 29.-** Justifique si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas: **a)** En las disoluciones acuosas de las bases débiles, éstas se encuentran totalmente disociadas. **b)** Un ácido débil es aquél cuyas disoluciones son diluidas.
- 30.-** Escriba las reacciones de hidrólisis de las siguientes sales e indique si el pH resultante será ácido, básico o neutro: **a)** NaCN (HCN es un ácido débil). **b)** KCl. **c)** NH<sub>4</sub>Cl.
- 31.-** Considere cuatro disoluciones A, B, C y D caracterizadas por: A: [OH<sup>-</sup>] = 10<sup>-13</sup>; B: pH = 3; C: pH = 10; D: [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] = 10<sup>-7</sup>. **a)** Ordénelas de menor a mayor acidez. **b)** Indique, razonadamente, cuáles son ácidas, básicas o neutras.

**32.- a)** Justifique, mediante la reacción correspondiente, el pH ácido de una disolución acuosa de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . **b)** Indique cuál es el ácido conjugado de las siguientes especies cuando actúan como base en medio acuoso:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ .

**33.- a)** Justifique, mediante la teoría de Brönsted-Lowry, el carácter ácido, básico o neutro que presentarán las disoluciones acuosas de las siguientes especies:  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{HNO}_2$ . **b)** Describa el procedimiento y el material necesario para llevar a cabo la valoración de una disolución acuosa de  $\text{HCl}$  con otra de  $\text{NaOH}$ .

**34.-** Escriba las ecuaciones químicas correspondientes a la disolución en agua de las siguientes sales y clasifíquelas en ácidas, básicas o neutras: **a)**  $\text{KNO}_3$ ; **b)**  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ; **c)**  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

**35.- a)** ¿Qué volumen de disolución de  $\text{NaOH}$  0'1 M se necesitaría para neutralizar 10 mL de disolución acuosa de  $\text{HCl}$  0'2 M? **b)** ¿Cuál es el pH en el punto de equivalencia? **c)** Describa el procedimiento experimental y nombre el material necesario para llevar a cabo la valoración.

**36.-** Al calentar cloruro de amonio en un recipiente cerrado se establece el siguiente equilibrio:  $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{HCl}(\text{g}) + \text{NH}_3(\text{g})$ . Justifique cómo afectará a la posición del equilibrio: **a)** Una disminución de la presión total. **b)** La extracción de amoniaco del recipiente. **c)** La adición de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  sólido.

**37.-** Justifique si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas: **a)** Las disoluciones acuosas de acetato de sodio dan un pH inferior a 7. **b)** Un ácido débil es aquél cuyas disoluciones son diluidas. **c)** La disociación de un ácido fuerte en una disolución diluida es prácticamente total.

**38.-** Calcule el pH de 50 mL de: **a)** Una disolución acuosa 0'01 M de cloruro de hidrógeno. **b)** Una disolución acuosa 0'01 M de hidróxido de potasio. **c)** Una disolución formada por la mezcla de volúmenes iguales de las dos disoluciones anteriores

**39.- a)** Explique por qué el  $\text{NH}_4\text{Cl}$  genera un pH ácido en disolución acuosa. **b)** Indique cuál es el ácido conjugado de las siguientes especies cuando actúan como base en medio acuoso:  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{NH}_3$ .

**40.- a)** ¿Qué volumen de disolución acuosa de  $\text{NaOH}$  2 M es necesario para neutralizar 25 mL de una disolución 0'5 M de  $\text{HNO}_3$ ? **b)** Justifique cuál será el pH en el punto de equivalencia. **c)** Describa el procedimiento experimental e indique el material y productos necesarios para llevar a cabo la valoración anterior.

**41.- a)** El pH de una disolución acuosa de un ácido monoprótico (HA) de concentración 0,0050 M es 2'3. Razone si se trata de un ácido fuerte o débil. **b)** Justifique si el pH de una disolución acuosa de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  es mayor, menor o igual a 7.

**42.-** Justifique, mediante las reacciones correspondientes, el comportamiento de una disolución amortiguadora formada por ácido acético y acetato de sodio, cuando se le añaden pequeñas cantidades de: **a)** Un ácido fuerte, como  $\text{HCl}$ . **b)** Una base fuerte, como  $\text{KOH}$ .

**43.-** Justifique, mediante las reacciones correspondientes: **a)** Qué le ocurre al equilibrio de hidrólisis que experimenta el  $\text{NH}_4\text{Cl}$  en disolución acuosa, cuando se añade  $\text{NH}_3$ . **b)** El comportamiento anfótero del  $\text{HCO}_3^-$  en disolución acuosa. **c)** El carácter ácido o básico del  $\text{NH}_3$  y del  $\text{SO}_3^{2-}$  en disolución acuosa.

**44.-** Se dispone de una disolución acuosa saturada de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , compuesto poco soluble. **a)** Escriba la expresión del producto de solubilidad para este compuesto. **b)** Deduzca la expresión que permite conocer la solubilidad del hidróxido a partir del producto de solubilidad. **c)** Razone cómo varía la solubilidad del hidróxido al aumentar el pH de la disolución.

**45.- a)** Ordene de menor a mayor acidez las disoluciones acuosas de igual concentración de  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NaOH}$  y  $\text{KNO}_3$ . Razone su respuesta. **b)** Se tiene un ácido fuerte HA en disolución acuosa. Justifique qué le sucederá al pH de la disolución al añadir agua.

**46.-** Al disolver en agua las siguientes sales:  $\text{KCl}$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  y  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , justifique mediante las reacciones correspondientes qué disolución es: **a)** Ácida. **b)** Básica. **c)** Neutra.

**47.-** El hidróxido de magnesio es un compuesto poco soluble en agua. **a)** Escriba la expresión del producto de solubilidad del compuesto. **b)** Deduzca la expresión que relaciona la solubilidad con el producto de solubilidad del compuesto. **c)** Justifique cómo se modificará la solubilidad si se añade una cierta cantidad de hidróxido de sodio.

**48.-** Razone si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones: **a)** Dos disoluciones acuosas de  $\text{pH} = 2$  de distintos ácidos siempre tienen la misma concentración de ácido. **b)** Una base débil es aquella cuyas disoluciones acuosas siempre son diluidas. **c)** La disociación de un ácido fuerte en agua es prácticamente total.

**49.-** Razone qué ocurrirá con el pH cuando: **a)** Se añade agua a una disolución acuosa de ácido fuerte. **b)** Se añade a 500 mL de una disolución acuosa de ácido fuerte 100 mL de la misma disolución. **c)** Se añade agua a una disolución acuosa de base fuerte.

**50.-** Justifique si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas: **a)** Una base fuerte es aquella cuyas disoluciones acuosas son concentradas. **b)** En las disoluciones acuosas de las bases débiles, éstas se encuentran totalmente disociadas. **c)** La disociación de un ácido fuerte en una disolución acuosa diluida es prácticamente total.

**51.-** Las constantes de acidez del  $\text{CH}_3\text{COOH}$  y del  $\text{HCN}$  en disolución acuosa son  $1,8 \cdot 10^{-5}$  y  $4,93 \cdot 10^{-10}$ , respectivamente. **a)** Escribe la reacción de disociación de ambos ácidos en disolución acuosa y las expresiones de la constante de acidez. **b)** Justifique cuál de ellos es el ácido más débil. **c)** Escribe la reacción química de acuerdo con la teoría de Brønsted-Lowry y justifica el carácter básico del cianuro de sodio.

**52.-** A  $25^\circ\text{C}$  la constante del equilibrio de solubilidad del  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  sólido es,  $K_s = 3,4 \cdot 10^{-11}$ . **a)** Establezca la relación que existe entre la constante  $K_s$  y la solubilidad ( $s$ ) del  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . **b)** Explique, razonadamente, cómo se podría disolver, a  $25^\circ\text{C}$  y mediante procedimientos químicos un precipitado de  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . **c)** ¿Qué efecto tendría sobre la solubilidad del  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  a  $25^\circ\text{C}$  la adición de cloruro de magnesio? Razone la respuesta.

**53.- a)** Escriba el equilibrio de hidrólisis del ion amonio, identificando en el mismo las especies que actúan como ácidos o bases de Brønsted-Lowry. **b)** Razone como varía la concentración de ion amonio al añadir una disolución de hidróxido de sodio. **c)** Razone como varía la concentración de iones amonio al disminuir el pH.

**54.-** Indique la diferencia entre: **a)** Un ácido fuerte y un ácido débil. **b)** Un ácido fuerte y un ácido concentrado. **c)** Un anfótero y un ácido.

**55.-** Justifique el pH de las disoluciones acuosas de las siguientes sales mediante las correspondientes reacciones de hidrólisis: **a)**  $\text{NaNO}_2$ ; **b)**  $\text{KCl}$ ; **c)**  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

**56.-** Justifique la veracidad o falsedad de las siguientes afirmaciones: **a)** Como el producto de solubilidad del cloruro de plata es  $2,8 \cdot 10^{-10}$ , la solubilidad en agua de esta sal es  $3 \cdot 10^{-3}$  M. **b)** En toda disolución saturada de hidróxido de magnesio se cumple:  $K_s = [\text{OH}^-][\text{Mg}^{2+}]^2$ . **c)** Todos los hidróxidos poco solubles se hacen aún más insolubles en medio básico.

**57.- a)** Ordene de menor a mayor acidez las disoluciones acuosas de igual concentración de  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NaOH}$  y  $\text{KNO}_3$ . Razone la respuesta. **b)** Se tiene un ácido débil HB en disolución acuosa. Justifique qué le sucederá al pH de la disolución cuando se le añada agua.

**58.-** Dadas las constantes de ionización de los siguientes ácidos:  $K_a(\text{HF}) = 6,6 \cdot 10^{-4}$ ;  $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,75 \cdot 10^{-5}$ ;  $K_a(\text{HCN}) = 6,2 \cdot 10^{-10}$ . **a)** Indique razonadamente qué ácido es más fuerte en disolución acuosa. **b)** Escriba el equilibrio de disociación del HCN indicando cuál será su base conjugada. **c)** Deduzca el valor de  $K_b$  del  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

**59.-** Razone si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones: **a)** Cuanto mayor sea la concentración inicial de un ácido débil, mayor será la constante de disociación. **b)** El grado de disociación de un ácido débil es independiente de la concentración inicial del ácido. **c)** Una disolución acuosa de cloruro de amonio tiene un pH básico.

**60.-** Justifique razonadamente cuáles de las siguientes disoluciones acuosas constituirían una disolución amortiguadora. **a)**  $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{COONa}$ . Sabiendo que  $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,75 \cdot 10^{-5}$ . **b)**  $\text{HCN} + \text{NaCl}$ . Sabiendo que  $K_a(\text{HCN}) = 6,2 \cdot 10^{-10}$ . **c)**  $\text{NH}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$ . Sabiendo que  $K_b(\text{NH}_3) = 1,8 \cdot 10^{-5}$ .

**61.- a)** Escriba la ecuación de equilibrio de solubilidad en agua del  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . **b)** Escriba la relación entre solubilidad y  $K_s$  para el  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . **c)** Razone cómo afecta a la solubilidad del  $\text{Al}(\text{OH})_3$  un aumento del pH.

**62.-** Responda razonadamente: **a)** En una disolución acuosa 0,1 M de ácido sulfúrico. ¿Cuál es la concentración de iones  $\text{H}_3\text{O}^+$  y de iones  $\text{OH}^-$ ? **b)** Sea una disolución acuosa 0,1 M de hidróxido de sodio. ¿Cuál es el pH de la disolución? **c)** Sea una disolución de ácido clorhídrico y otra de la misma concentración de ácido acético. ¿Cuál de las dos tendrá mayor pH? Dato:  $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,75 \cdot 10^{-5}$ .

**63.-** Indique, razonadamente, si cada una de las siguientes proposiciones es verdadera o falsa: **a)** De acuerdo con la teoría de Brønsted-Lowry el carácter básico del amoníaco, en disoluciones acuosas, se debe a que acepta un grupo  $\text{OH}^-$  de la molécula de agua. **b)** Si el pH de una disolución de un ácido monoprotónico fuerte es 2,17 la concentración molar de la disolución respecto a dicho ácido estará comprendida entre 0,001 y 0,01. **c)** En disoluciones acuosas el ion  $\text{HCO}_3^-$  se comporta como un electrolito anfótero.