Para ajustar el oxígeno, escribiremos otro dos delante de la molécula de oxígeno gaseoso en los reactivos.

De este modo, la ecuación ajustada del primer proceso es:

$$CH_4\ (g) + 2\ O_2\ (g) \rightarrow CO_2\ (g) + 2\ H_2O\ (g)$$

Procediendo en la misma forma con la segunda ecuación, obtenemos:

$$C_3H_8\ (g) + 5\ O_2\ (g) \rightarrow 3\ CO_2\ (g) + 4\ H_2O\ (g)$$

NOTA: La solución de este problema se ofrece también en el CD-ROM del alumnado.

48. El límite legal de cromo en los vertidos de las refinerías de petróleo es 0,05 mg/l y el de plomo, 0,1 mg/l. Expresa dichos límites en concentraciones molares.

En un litro de disolución hay m_{Cr} = 0,05 mg = $5 \cdot 10^{-5}$ g. Teniendo en cuenta la masa molar del cromo: M_{Cr} = 52 g/mol, obtenemos la concentración molar del cromo:

$$n_{Cr} = \frac{m_{Cr}}{M_{Cr}} \rightarrow n_{Cr} = \frac{5 \cdot 10^{-5}}{52} = 9{,}62 \cdot 10^{-7}\ \text{mol}$$

$$C_m = \frac{n_{Cr}}{V_{disolución}} \rightarrow C_m = \frac{9{,}62 \cdot 10^{-7}}{1} = 9{,}62 \cdot 10^{-7}\ \text{M}$$

En el caso del plomo, la cantidad máxima, por litro, es de 0,1 mg, es decir, 10^{-4} g. Por tanto, el cálculo de la concentración molar del plomo, teniendo en cuenta que M_{Pb} = 207,2 g/mol, se calcula del siguiente modo:

$$n_{Pb} = \frac{m_{Pb}}{M_{Pb}} \rightarrow n_{Pb} = \frac{10^{-4}}{207{,}2} = 4{,}83 \cdot 10^{-7}\ \text{mol}$$

$$C_m = \frac{n_{Pb}}{V_{disolución}} \rightarrow C_m = \frac{4{,}83 \cdot 10^{-7}}{1} = 4{,}83 \cdot 10^{-7}\ \text{M}$$

49 Una disolución acuosa de ácido fosfórico contiene 300 g de dicho ácido por litro de disolución. Su densidad es 1,153 g/cm³. Calcula:

a) Su concentración en tanto por ciento en masa.

b) Su molaridad.

a) La masa de la disolución acuosa del ácido fosfórico, H_3PO_4, la podemos obtener a partir de la densidad. Si consideramos V = 1 l:

$$d = \frac{m_{disolución}}{V} \rightarrow m_{disolución} = d \cdot V = 1\,153\ \text{g/l} \cdot 1\ \text{l} = 1\,153\ \text{g}$$

Por tanto, la concentración en % en masa es:

$$c = \frac{300}{1\,153} \cdot 100 = 26{,}02\%$$

b) La masa molar del ácido fosfórico es: $M_{H_3PO_4} = 3 + 31 + 4 \cdot 16 = 98$ g/mol. Con este dato, la concentración molar es:

$$C_m = \frac{n_{H_3PO_4}}{V_{disolución}} = \frac{\frac{m_{H_3PO_4}}{M_{H_3PO_4}}}{V_{disolución}} \rightarrow C_m = \frac{\frac{300}{98}}{1} = 3{,}06 \text{ M}$$

50. Se disuelven 2 g de ácido sulfúrico puro en 100 ml de agua, resultando una disolución cuyo volumen es de 0,111 litros. Calcula la concentración de la disolución en tanto por ciento en masa, sabiendo que la densidad del agua es 1 g/cm^3, y su molaridad.

Para calcular la concentración en tanto por ciento, necesitamos conocer la masa de disolvente, m_d; la masa de soluto, m_s, y la masa de la disolución, m_D:

$$m_d = 100 \text{ g de agua}$$

$$m_s = 2 \text{ g de ácido sulfúrico puro}$$

$$m_D = m_s + m_d = 2 + 100 = 102 \text{ g de disolución}$$

La concentración en tanto por ciento es:

$$c = \frac{m_s}{m_D} \cdot 100 \rightarrow c = \frac{2}{102} \cdot 100 = 1{,}96\%$$

Para calcular la molaridad obtenemos, en primer lugar, $n_{H_2SO_4}$. Teniendo en cuenta que $M_{H_2SO_4} = 98$ g/mol, resulta:

$$n_{H_2SO_4} = \frac{2}{98} = 0{,}02 \text{ mol de } H_2SO_4$$

Por tanto, la concentración molar de la disolución es:

$$C_m = \frac{n_{H_2SO_4}}{V_{disolución}} \rightarrow C_m = \frac{0{,}02}{0{,}111} = 0{,}18 \text{ M}$$

51 Calcula la molaridad de una disolución preparada al mezclar 75 ml de ácido clorhídrico 0,5 M con 75 ml de una disolución de ácido clorhídrico 0,05 M. Supón que los volúmenes son aditivos.

Los datos de que disponemos son:

$$V_1 = 75 \text{ ml} \;\; ; \;\; C_{m_1} = 0{,}5 \text{ M}$$

$$V_2 = 75 \text{ ml} \;\; ; \;\; C_{m_2} = 0{,}05 \text{ M}$$

Para calcular la molaridad de la disolución resultante, necesitamos conocer la cantidad de sustancia de soluto, y el volumen total de disolución. La cantidad de sustancia de ácido clorhídrico presente en cada una de las disoluciones que se mezclan la calculamos como sigue:

$$n_1 = C_{m_1} \cdot V_1 = 0{,}5 \cdot 0{,}075 = 0{,}0375 \text{ mol de HCl}$$

$$n_2 = C_{m_2} \cdot V_2 = 0{,}05 \cdot 0{,}075 = 0{,}00375 \text{ mol de HCl}$$

Por tanto:

$$n_T = n_1 + n_2 = 0{,}0375 + 0{,}00375 = 0{,}04125 \text{ mol}$$

Como en el enunciado se indica que los volúmenes son aditivos:

$$V_D = V_1 + V_2 = 75 + 75 = 150 \text{ ml} = 0{,}15 \text{ l}$$

Finalmente, la molaridad de la disolución resultante es:

$$C_M = \frac{n_T}{V_D} = \frac{0{,}04125}{0{,}15} = 0{,}275 \text{ M}$$

52. Disponemos de 500 ml de una disolución de ácido clorhídrico al 10%, que tiene una densidad de 1,055 g/ml.

Calcula la molaridad de dicha disolución.

Los datos que proporciona el enunciado del problema son los siguientes:

$$V_D = 500 \text{ ml} = 0{,}5 \text{ l de disolución de HCl}$$

$$R = 10\% \text{ en masa}$$

$$d_D = 1{,}055 \text{ g/ml}$$

Con estos datos podemos calcular la masa de disolución:

$$d_D = \frac{m_D}{V_D} \rightarrow m_D = d_D \cdot V_D = 1{,}055 \cdot 500 = 527{,}5 \text{ g}$$

Como la riqueza en masa es del 10%, la masa de soluto será:

$$R = \frac{m_s}{m_D} \cdot 100 \rightarrow m_s = m_D \cdot \frac{R}{100} = 527{,}5 \cdot \frac{10}{100} = 52{,}75 \text{ g de HCl}$$

Y la cantidad de sustancia de soluto:

$$n_s = \frac{m_s}{M_s} \rightarrow n_s = \frac{52{,}75}{36{,}45} = 1{,}447 \text{ mol de HCl}$$

Finalmente, la molaridad de la disolución será:

$$C_m = \frac{n_s}{V_D} \rightarrow C_m = \frac{1{,}447}{0{,}5} = 2{,}89 \text{ M}$$

53. Añadimos un litro de agua a la disolución anterior. Calcula:

a) La concentración molar de la disolución resultante.

b) El porcentaje en masa de ácido clorhídrico.

c) La concentración de la disolución, en g/l.

a) La nueva concentración molar es:

$$C_m = \frac{n_s}{V'_D} \rightarrow C_m = \frac{1{,}447}{0{,}5 + 1} = 0{,}96 \text{ M}$$

b) Para calcular el porcentaje en masa de ácido clorhídrico utilizamos la siguiente expresión:

$$R = \frac{m_s}{m_D} \cdot 100$$

donde m_D es la masa de la disolución (masa de soluto + masa de disolvente).

Necesitamos conocer, por tanto, la masa de soluto, m_s, y la masa de disolvente, m_d. La primera, de acuerdo con el problema anterior, es: m_s = 52,75 g de HCl. La masa de disolución, también calculada anteriormente es m_D = 527,5 g. Por tanto:

$$m_D = m_s + m_d \rightarrow m_d = m_D - m_s = 527{,}5 - 52{,}75 = 474{,}75 \text{ g}$$

Considerando, además, el litro de agua que añadimnos, el porcentaje en masa de ácido clorhídrico (riqueza) es:

$$R = \frac{52{,}75}{52{,}75 + (474{,}75 + 1\,000)} \cdot 100 = 3{,}45 \cdot 10^{-2}\%$$

c) La concentración de la disolución, en g/l, la calculamos como sigue:

$$c = \frac{m_s}{V_D} \rightarrow c = \frac{52{,}75}{1{,}5} = 35{,}17 \text{ g/l}$$

54. Calcula la molaridad de una disolución de ácido sulfúrico concentrado cuya densidad es 1,84 g/cm^3, sabiendo que su riqueza en masa es del 98%.

La densidad, *d*, proporciona la relación entre la masa y el volumen de la disolución:

$$d = \frac{m_{disolución}}{V_{disolución}} \rightarrow d = 1{,}84 \text{ g/cm}^3$$

La riqueza, *R*, nos indica la masa de ácido sulfúrico en 100 g de disolución:

$$R = \frac{m_{H_2SO_4}}{m_{disolución}} \cdot 100 \rightarrow R = 98\%$$

Nos piden calcular la molaridad de dicha solución:

$$C_m = \frac{n_{H_2SO_4}}{V_{disolución}}$$

Para ello, fijamos un volumen de disolución, y calculamos la cantidad de sustancia, en mol de H_2SO_4, que contiene dicho volumen:

$$V = 1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ ml} = 10^{-3} \text{ l}$$

Con la densidad calculamos la masa de disolución que corresponde a dicho volumen:

$$d = \frac{m_{disolución}}{V} \rightarrow m_{disolución} = d \cdot V = 1{,}84 \cdot 1 = 1{,}84 \text{ g de disolución}$$

La riqueza indica que el 98% de esta masa es H_2SO_4:

$$m_{H_2SO_4} = \frac{m_{disolución} \cdot R}{100} \rightarrow m_{H_2SO_4} = \frac{1{,}84 \cdot 98}{100} = 1{,}80 \text{ g de } H_2SO_4$$

La cantidad de sustancia a que equivale esta masa, se calcula a partir de la expresión:

$$n_{H_2SO_4} = \frac{m_{H_2SO_4}}{M_{H_2SO_4}}$$

siendo la masa molar del ácido sulfúrico, $M_{H_2SO_4}$ = 98 g/mol. Por tanto:

$$n_{H_2SO_4} = \frac{1{,}80}{98} = 0{,}0184 \text{ mol de } H_2SO_4$$

Esta cantidad de sustancia es la que hay en 10^{-3} l (1 cm^3) de disolución, luego la molaridad de dicha disolución será:

$$C_m = \frac{0{,}0184}{10^{-3}} = 18{,}4 \text{ M}$$

NOTA: La solución de este problema se ofrece también en el CD-ROM del alumnado.

55. Se prepara una disolución disolviendo 20 g de cloruro de potasio en un litro de agua. Calcula la molaridad de la disolución resultante, sabiendo que su densidad es 1,015 g/cm³.

Dato: la densidad del agua es 1,00 g/cm³.

Los datos de que disponemos son:

$$m_s = 20 \text{ g}$$

$$M_{KCl} = 39{,}1 + 35{,}5 = 74{,}6 \text{ g/mol}$$

$$V_d = 1 \text{ l} \rightarrow m_d = 1\,000 \text{ g (ya que la densidad del agua es 1,00 g/m}^3\text{)}$$

$$d_D = 1{,}015 \text{ g/cm}^3 = 1\,015 \text{ g/l}$$

La cantidad de sustancia de soluto es:

$$n_s = \frac{m_s}{M_s} \rightarrow n_s = \frac{20}{74{,}6} = 0{,}268 \text{ mol de KCl}$$

Y el volumen de la disolución resultante, teniendo en cuenta la densidad:

$$V_D = \frac{m_D}{d_D} \rightarrow V_D = \frac{1\,000 + 20}{1\,015} = 1{,}0049 \text{ l}$$

Finalmente, la molaridad de la disolución es:

$$C_m = \frac{n_s}{V_D} \rightarrow C_m = \frac{0{,}268}{1{,}0049} = 0{,}267 \text{ M}$$

56 Se toman 50 ml de una disolución de ácido nítrico, de densidad 1,405 g/ml, y que contiene un 68,1% en masa de dicho ácido. Se diluyen en un matraz aforado de 500 ml hasta enrasar. Calcula la molaridad de la disolución obtenida.

Los datos de que disponemos son los siguientes:

$$V_{dis.\ inicial} = 50 \text{ ml}$$

$$d_{dis.\ inicial} = 1{,}405 \text{ g/ml}$$

$$R_{dis.\ inicial} = 68{,}1\% \text{ en masa de } HNO_3$$

$$V_{dis.\ final} = 500 \text{ ml} = 0{,}5 \text{ l}$$

La masa de la disolución inicial es:

$$m_{\text{dis. inicial}} = d_{\text{dis. inicial}} \cdot V_{\text{dis. inicial}} = 1{,}405 \cdot 50 = 70{,}25 \text{ g}$$

Teniendo en cuenta la concentración de esa disolución, la masa de soluto será:

$$R = \frac{m_s}{m_{\text{dis. inicial}}} \cdot 100 \rightarrow m_s = 70{,}25 \cdot \frac{68{,}1}{100} = 47{,}84 \text{ g de } HNO_3$$

Por tanto, la cantidad de sustancia de soluto será:

$$n_s = \frac{m_s}{M_s} \rightarrow n_s = \frac{47{,}84}{1 + 14 + 3 \cdot 16} = 0{,}759 \text{ mol de } HNO_3$$

Finalmente, la molaridad de la disolución resultante será:

$$C_m = \frac{n_s}{V_D} \rightarrow C_m = \frac{0{,}759}{0{,}5} = 1{,}52 \text{ M}$$

57. Se dispone de ácido clorhídrico concentrado de densidad 1,18 g/ml y 36% de riqueza en masa. Calcula:

a) Su molaridad.

b) La cantidad de sustancia, en mol, de NaOH que reaccionarán con 20 ml de este ácido.

Los datos que proporciona el enunciado del problema son:

$$d_D = 1{,}18 \text{ g/ml}$$

$$R = 36\% \text{ en masa de HCl}$$

a) Para calcular la molaridad, suponemos que disponemos de un litro de disolución, cuya masa será:

$$d_D = \frac{m_D}{V_D} \rightarrow m_D = d_D \cdot V_D = 1{,}18 \cdot 1\,000 = 1\,180 \text{ g}$$

La masa de soluto contenida será:

$$R = \frac{m_s}{m_{\text{Dis. inicial}}} \cdot 100 \rightarrow m_s = m_D \cdot \frac{R}{100} = 1\,180 \cdot \frac{36}{100} = 424{,}8 \text{ g de HCl}$$

Y la cantidad de sustancia de soluto:

$$n_s = \frac{m_s}{M_s} \rightarrow n_s = \frac{424{,}8}{1 + 35{,}45} = 11{,}65 \text{ mol de HCl}$$

Por tanto, la molaridad de la disolución será:

$$C_m = \frac{n_s}{V_D} \rightarrow C_m = \frac{11{,}65}{1} = 11{,}65 \text{ M}$$

b) La reacción de neutralización que se produce es:

$$NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O$$

La masa que corresponde a 20 ml de disolución es:

$$d_D = \frac{m_D}{V_D} \rightarrow m_D = d_D \cdot V_D = 1{,}18 \cdot 20 = 23{,}6 \text{ g}$$

Como la riqueza es del 36% en masa de HCl, la masa de soluto será:

$$m_s = m_D \cdot \frac{R}{100} = 23{,}6 \cdot \frac{36}{100} = 8{,}496 \text{ g de HCl}$$

Y la cantidad de sustancia que corresponde a esa masa de soluto:

$$n_s = \frac{m_s}{M_s} \rightarrow n_s = \frac{8{,}496}{35{,}45 + 1} = 0{,}233 \text{ mol de HCl}$$

Observa que este dato podríamos haberlo obtenido directamente a partir de la expresión de la concentración molar:

$$C_m = \frac{n_s}{V_D} \rightarrow n_s = C_m \cdot V_D = 11{,}65 \cdot 0{,}020 = 0{,}233 \text{ mol de HCl}$$

Como la relación entre la cantidad de sustancia de NaOH y de HCl que reacciona es 1:1, reaccionarán 0,233 mol de NaOH con 20 ml del HCl del problema.

58. Se prepara una disolución de ácido sulfúrico mezclando 95,94 g de agua y 10,66 g de ácido. El volumen de la disolución resultante es 0,100 l. Calcula:

a) La fracción molar de soluto y disolvente.

b) La molaridad y la riqueza (% en masa) de la disolución.

Los datos de que disponemos son:

$$m_d = 95{,}94 \text{ g de } H_2O$$

$$m_s = 10{,}66 \text{ g de } H_2SO_4$$

$$V_D = 0{,}100 \text{ l}$$

a) Para calcular la fracción molar de soluto y disolvente, necesitamos obtener, en primer lugar, la cantidad de sustancia de cada uno de ellos:

$$n_s = \frac{m_s}{M_{H_2SO_4}} \rightarrow n_s = \frac{10{,}66}{98} = 0{,}109 \text{ mol de } H_2SO_4$$

$$n_d = \frac{m_d}{M_{H_2O}} \rightarrow n_d = \frac{95{,}94}{18} = 5{,}33 \text{ mol de } H_2O$$

Por tanto:

$$\chi_s = \frac{n_s}{n_s + n_d} \rightarrow \chi_s = \frac{0{,}109}{0{,}109 + 5{,}33} = 0{,}02$$

$$\chi_d = \frac{n_d}{n_s + n_d} \rightarrow \chi_d = \frac{5{,}33}{0{,}109 + 5{,}33} = 0{,}98$$

b) La molaridad de la disolución es:

$$C_m = \frac{n_s}{V_D} \rightarrow C_m = \frac{0{,}109}{0{,}100} = 1{,}09 \text{ M}$$

Y la riqueza, en tanto por ciento en masa:

$$R = \frac{m_s}{m_s + m_d} \cdot 100 \rightarrow R = \frac{10{,}66}{10{,}66 + 95{,}94} \cdot 100 = 10\% \text{ de } H_2SO_4$$

59. Calcula la masa de carbonato de sodio, Na_2CO_3, necesaria para preparar 1 litro de una disolución al 15% en masa y cuya densidad es de 1,15 g/ml.

Explica los pasos que seguirías para preparar dicha disolución en el laboratorio.

Los datos de que disponemos son los siguientes:

$$V_D = 1 \text{ l} = 1\,000 \text{ ml}$$

$$R = 15\% \text{ en masa}$$

$$d_D = 1{,}15 \text{ g/ml}$$

La masa de la disolución resultante es:

$$d_D = \frac{m_D}{V_D} \rightarrow m_D = d_D \cdot V_D = 1{,}15 \cdot 1\,000 = 1\,150 \text{ g}$$

La masa de soluto (carbonato de sodio) presente en ella, es:

$$m_s = m_D \cdot \frac{R}{100} \rightarrow m_s = 1\,150 \cdot \frac{15}{100} = 172{,}5 \text{ g de } Na_2CO_3$$

Para conocer los pasos necesarios para preparar la disolución, consúltese la página 341 del libro del alumnado.

60. El calor desprendido en la combustión de 1,6 g de metano (CH_4) es 88,2 kJ. Calcula el calor molar de combustión del metano.

Los datos de que disponemos son:

$$m_1 = 1{,}6 \text{ g de } CH_4 \rightarrow \Delta H_1 = -88{,}2 \text{ kJ}$$

La masa de un mol de metano es:

$$M_{CH_4} = 12 + 4 \cdot 1 = 16 \text{ g/mol}$$

Podemos establecer las siguientes proporciones para calcular el calor molar de combustión del metano:

$$\frac{\Delta H_2}{M_{CH_4}} = \frac{\Delta H_1}{m_1} \rightarrow \Delta H_2 = \frac{\Delta H_1 \cdot M_{CH_4}}{m_1} \rightarrow \Delta H_2 = \frac{-88{,}2 \cdot 16}{1{,}6} = -882 \text{ kJ/mol}$$

61. El acetileno es un gas de fórmula molecular C_2H_2, que arde con oxígeno originando dióxido de carbono y vapor de agua. La reacción es fuertemente exotérmica: se desprenden 1 304 kJ por cada mol de acetileno que se quema.

a) Formula y ajusta la ecuación química del proceso.

b) Calcula la energía que se desprenderá al arder 200 g de acetileno.

a) La ecuación química que corresponde a la reacción de combustión del acetileno es:

$$C_2H_2\ (g) + O_2\ (g) \rightarrow CO_2 + H_2O\ (s)\ ;\ \Delta H = -1\,304 \text{ kJ/mol}$$

Esta ecuación está sin ajustar. Vamos a ajustarla por el método de los coeficientes de modo que quede ajustada a 1 mol de acetileno, ya que el dato de la energía desprendida corresponde a esta cantidad de sustancia de acetileno.