

6) Escribir las ecuaciones que representan la acción del agua que contiene CO₂ disuelto sobre:

- a) caliza (carbonato de calcio).
- b) dolomita (carbonato de calcio y magnesio).

Respuesta: **a)** $\text{CaCO}_3 (\text{s}) + \text{CO}_2 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 (\text{ac})$ **b)** $\text{MgCO}_3 (\text{s}) + \text{CO}_2 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 (\text{ac})$ y reacción de **a)**.

7) Escribir las ecuaciones iónica y molecular que representan la disolución de carbonato de calcio en medio ácido.

Respuesta: mol: $\text{CaCO}_3 (\text{s}) + 2 \text{H}^+ (\text{ac}) \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 (\text{ac})$; ion: $\text{CaCO}_3 (\text{s}) + 2 \text{H}^+ (\text{ac}) \rightarrow \text{Ca}^{2+} (\text{ac}) + 2 \text{HCO}_3^- (\text{ac})$

8) Nombrar las etapas que corresponden a la potabilización del agua del Río de La Plata, indicar su finalidad y describir brevemente cada una de ellas.

9) Escribir las ecuaciones correspondientes a las reacciones de cloro con amoníaco para formar monocloramina y dicloramina. Indicar si son reacciones reversibles.

Respuesta: formación de cloroamina: $\text{Cl}_2 (\text{g}) + 2 \text{NH}_3 (\text{ac}) \leftrightarrow \text{NH}_2\text{Cl} (\text{ac}) + \text{NH}_4\text{Cl} (\text{ac})$; formación de dicloroamina: $2 \text{Cl}_2 (\text{g}) + 3 \text{NH}_3 (\text{ac}) \leftrightarrow \text{NHCl}_2 (\text{ac}) + 2 \text{NH}_4\text{Cl} (\text{l})$

10) Con respecto al proceso de "cortado" del jabón:

- a) Escribir la ecuación que representan el "cortado" del jabón. Tomar como ejemplo del jabón a una molécula de alquilcarboxilato de sodio (R-COO⁻ Na⁺)
- b) ¿Qué aspecto tiene el jabón cortado?

Respuesta: **a)** $2 \text{R-COONa} (\text{ac}) + \text{Ca}^{2+} (\text{ac}) \rightarrow (\text{R-COO})_2\text{Ca} (\text{s}) + 2 \text{Na}^+ (\text{ac})$

11) Dadas las muestras de agua que contienen los siguientes iones:

- ii) K⁺, Ca²⁺, SO₄²⁻, NO₂⁻
- ii) Cl⁻, HCO₃⁻, Na⁺, K⁺
- iii) Mg²⁺, K⁺, HCO₃⁻.

- a) Indicar si se trata de un agua dura o no.
- b) En caso de ser agua dura, qué tipo o tipos de dureza contiene (permanente y/o temporaria).

Respuesta: **a)** i) si es dura ii) no es dura iii) si es dura **b)** i) dureza permanente ii) dureza temporaria

12) Nombrar, para cada caso, al menos dos sales que al disolverse en agua:

- i) producen dureza permanente
- ii) producen dureza temporaria
- iii) no producen dureza

13) Escribir las ecuaciones iónica y molecular correspondientes a la descomposición de los bicarbonatos (hidrógeno carbonato) de calcio y de magnesio por el calor. Relacionar estas ecuaciones con las del Ejercicio 6).

Respuesta: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 (\text{s}) \rightarrow \text{CaCO}_3 (\text{s}) + \text{CO}_2 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l})$; $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 (\text{s}) \rightarrow \text{MgCO}_3 (\text{s}) + \text{CO}_2 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l})$

14) ¿Cuáles son los inconvenientes que causan las incrustaciones en los tubos de calderas? ¿Puede considerarse como un método industrial viable de eliminación de dureza temporaria al calentamiento del agua?

15) Representar esquemáticamente el funcionamiento (servicio y regeneración) de una columna ablandadora de agua, indicando las ecuaciones químicas correspondientes.

Respuesta: servicio (para Ca^{2+}): $\text{Ca}^{2+} (\text{ac}) + 2 \text{R-Na} (\text{s}) \rightarrow 2 \text{Na}^+ (\text{ac}) + \text{R}_2\text{-Ca} (\text{s})$; regeneración (para Ca^{2+}): $2 \text{Na}^+ (\text{ac}) + \text{R}_2\text{-Ca} (\text{s}) \rightarrow \text{Ca}^{2+} (\text{ac}) + 2 \text{R-Na} (\text{s})$

16) Representar esquemáticamente el funcionamiento (servicio y regeneración) de una instalación desionizadora de agua, indicando las ecuaciones químicas correspondientes.

Respuesta: ejemplo de ecuaciones para una muestra de agua que contiene NaCl

servicio (resina carboxílica, 1er paso): $\text{R-COOH} (\text{s}) + \text{Na}^+ (\text{ac}) + \text{Cl}^- (\text{ac}) \rightarrow \text{R-COONa} (\text{s}) + \text{Cl}^- (\text{ac}) + \text{H}^+ (\text{ac})$

servicio (resina amoniacal, 2do paso): $\text{R-NH}_3\text{OH} (\text{s}) + \text{Cl}^- (\text{ac}) + \text{H}^+ (\text{ac}) \rightarrow (\text{R-NH}_3)\text{Cl} (\text{s}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l})$

regener. (resina carboxílica, con HCl): $\text{R-COONa} (\text{s}) + \text{Cl}^- (\text{ac}) + \text{H}^+ (\text{ac}) \rightarrow \text{R-COOH} (\text{s}) + \text{Na}^+ (\text{ac}) + \text{Cl}^- (\text{ac})$

regener. (resina amoniacal, con NaOH): $(\text{R-NH}_3)\text{Cl} (\text{s}) + \text{Na}^+ (\text{ac}) + \text{OH}^- (\text{ac}) \rightarrow (\text{R-NH}_3)\text{OH} (\text{s}) + \text{Na}^+ (\text{ac}) + \text{Cl}^- (\text{ac})$

17) Una muestra de agua de 100 cm^3 contiene 4 mg de Ca^{2+} y 1,2 mg de Mg^{2+} .

a) Expresar su dureza en las siguientes formas:

i) milimoles de Ca^{2+} y Mg^{2+} por litro de agua ii) mg de CaCO_3 por litro de agua.

Respuesta: **a)** i) 1,5 mmol ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$)/L; ii) 150 mg CaCO_3 /L (o ppm CaCO_3)

18) Un lavadero utiliza 120 L/día de agua que contiene 48,12 mg/L de sulfato (VI) de magnesio y 55,5 mg/L de cloruro de calcio.

a) Determinar la dureza total del agua que utiliza el lavadero, expresada en ppm de CaCO_3 .

b) ¿Qué masa de jabón (en gramos) se desperdicia por día en el lavadero como consecuencia del proceso de “cortado”? Considerar que se utiliza un jabón de sodio ($\text{R-COO}^-\text{Na}^+$) de masa molar 306 g/mol.

c) Escribir la reacción correspondiente al proceso de “cortado” del jabón.

Respuesta: **a)** $D_{\text{TOTAL}} = 90 \text{ ppm } \text{CaCO}_3$ **b)** m jabón = 66,1 g/día **c)** $2 \text{R-COONa} (\text{ac}) + \text{Ca}^{2+} (\text{ac}) \rightarrow (\text{R-COO})_2\text{Ca} (\text{s}) + 2 \text{Na}^+ (\text{ac})$

19) Para eliminar la dureza de 500 L de agua se utiliza una resina de intercambio sulfónica de sodio cuya capacidad de intercambio es de 850 meq/L. Una muestra de 50 ml de esa agua contiene 24 mg de cloruro de magnesio.

a) Determinar la dureza total de la muestra de agua, expresada en ppm de CaCO_3 .

b) Escribir las ecuaciones correspondientes al intercambio de iones entre el agua y la resina.

- c) Determinar la cantidad de resina (en litros) necesaria para reducir la dureza hasta 10 ppm de CaCO_3 en la muestra.
- d) La resina se puede regenerar empleando una solución de NaCl al 37.5% m/m (solución saturada de densidad 1,18 g/ml), ¿qué volumen de esta solución necesitaría para regenerar totalmente a la resina empleada?

Respuesta: a) $D_{\text{TOTAL}} = 504,2 \text{ ppm}$ b) $\text{Mg}^{2+} (\text{ac}) + 2 \text{ R-SO}_3\text{Na} (\text{s}) \rightarrow 2 \text{ Na}^+ (\text{ac}) + (\text{R-SO}_3)_2\text{-Mg} (\text{s})$ c) $V_{\text{RESINA}} = 5,81 \text{ L}$; d) $V_{\text{Solución NaCl}} = 652,2 \text{ mL}$.

20) A una muestra de 100 ml de agua que sulfato de magnesio se le agrega una solución buffer para conseguir un pH de 10. Luego, se procede a titular con una solución EDTA de concentración 0,01 M empleando NET como indicador. Se consume un volumen de 25 ml de solución EDTA para titular muestra de agua.

- a) ¿Por qué se necesita asegurar un pH igual a 10 de la solución a titular?
- b) ¿Cuáles son las reacciones que tienen lugar durante la titulación? Escribir las ecuaciones químicas correspondientes
- c) ¿Cómo reconoce el punto final de la titulación?
- d) ¿Cuál es la dureza de la muestra de agua?

Respuesta: b) reacción Mg con indicador NET : $\text{Mg}^{2+} (\text{ac}) + [\text{HNET}]^{2-} (\text{ac}) \leftrightarrow [\text{MgNET}]^- (\text{ac}) + \text{H}^+ (\text{ac})$; reacción Mg^{2+} libre con EDTA: $\text{Mg}^{2+} (\text{ac}) + [\text{H}_2\text{Y}]^{2-} (\text{ac}) \leftrightarrow [\text{MgY}]^{2-} (\text{ac}) + 2 \text{ H}^+ (\text{ac})$; reacción complejo $[\text{MgNET}]^+$ con EDTA: $[\text{MgNET}]^- (\text{ac}) + [\text{H}_2\text{Y}]^{2-} (\text{ac}) \leftrightarrow [\text{MgY}]^{2-} (\text{ac}) + [\text{HNET}]^{2-} + \text{H}^+ (\text{ac})$ d) $D_{\text{TOTAL}} = 250 \text{ ppm}$

21) Una muestra de 3 L de agua contiene 175 mg de Cl^- , 305 mg de HCO_3^- , 48 mg de Mg^{2+} , 80 mg de Ca^{2+} y 148 mg de Na^+ .

- a) Calcular la dureza total, dureza temporaria y dureza permanente.
- b) ¿Qué reacciones ocurrirán si se somete la muestra a ebullición? Escribir las ecuaciones correspondientes.
- c) Calcular la dureza temporaria y permanente luego de hervir la muestra por media hora y filtrarla.

Respuesta: a) $D_{\text{TOTAL}} = 133,3 \text{ ppm}$, $D_{\text{TEMPORARIA}} = 83,3 \text{ ppm}$, $D_{\text{PERMANENTE}} = 50 \text{ ppm}$ b) ocurre la precipitación de CaCO_3 y $\text{Mg}(\text{OH})_2$ por acción del calor: $\text{Ca}^{2+} (\text{ac}) + 2 \text{ HCO}_3^- (\text{ac}) \rightarrow \text{CaCO}_3 (\text{s}) + \text{CO}_2 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l})$; $\text{Mg}^{2+} (\text{ac}) + 2 \text{ HCO}_3^- (\text{ac}) \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2 (\text{s}) + 2 \text{ CO}_2 (\text{g})$ c) $D_{\text{TOTAL}} = D_{\text{PERMANENTE}} = 50 \text{ ppm}$

22) Se desea conocer la dureza total del agua de un pozo para evaluar su posible uso en el riego por goteo de cierto cultivo. Para mantener la instalación en perfecto estado, el instalador recomienda no utilizar agua con una dureza total superior a 150 ppm de CaCO_3 . Para determinar la dureza se toma una muestra de agua de 25 mL y se la valora con una solución de EDTA de concentración 0,0103 M, empleando NET como indicador. En la titulación se consumen 8.4 mL de solución EDTA.

- a) Indicar si se puede utilizar el agua de este pozo para el riego por goteo de la plantación.

Respuesta: El agua no es apta ($D_{\text{TOTAL}} = 346 \text{ ppm}$).

23) Una muestra de agua de pozo tiene una dureza total de 130 ppm de CaCO_3 . Se sabe que la dureza permanente es de 10 ppm y que la relación en moles Ca/Mg de la muestra es de 2.

- ¿Qué reacciones ocurrirán si se somete la muestra a ebullición? Escribir las ecuaciones correspondientes.
- Calcular la masa de CaCO_3 que precipita al calentar una muestra de 20 ml del agua de pozo.
- Si se quisiera disminuir la dureza total hasta 30 ppm de una muestra de 100 L de la misma agua ¿cuántos litros de una resina de capacidad de intercambia de 600 meq/L serían necesarios?

Respuesta: **a)** ocurre la precipitación de CaCO_3 y $\text{Mg}(\text{OH})_2$ por acción del calor:
 $\text{Ca}^{2+}(\text{ac}) + 2 \text{HCO}_3(\text{ac}) \rightarrow \text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$; $\text{Mg}^{2+}(\text{ac}) + 2 \text{HCO}_3(\text{ac}) \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2(\text{s}) + 2 \text{CO}_2(\text{g})$
b) masa $\text{CaCO}_3 = 1,6 \text{ mg}$ **c)** $V_{\text{RESINA}} = 0,34 \text{ L}$

24) Se desea determinar la composición química del agua extraída de un pozo de petróleo. Para ello, se analizó una muestra de 50 ml y se determinó la presencia de las siguientes especies iónicas: 8,36 mg de hidrogeno carbonato, 2,17 mg de magnesio, 5,34 mg de cloruro, 2,61 mg de calcio y 1,05 mg de sulfato.

- Determinar la dureza total, dureza temporaria y dureza permanente que contiene el agua extraída del pozo.
- Clasificar el agua según su dureza.
- ¿Qué reacciones ocurrirán si se somete la muestra a ebullición? Escribir las ecuaciones correspondientes.
- Determinar las masas de reactivos (hidróxido de calcio y carbonato de sodio) necesarios para eliminar totalmente la dureza presente en 100 L de agua empleando el método de la cal-soda.
- Si la cantidad de hidrogeno carbonato en los 50 ml de muestra fuese 32 mg en lugar de 8,36 mg, determinar los diferentes tipos de dureza para la muestra de agua.

Respuesta: **a)** $D_{\text{TOTAL}} = 309 \text{ ppm}$, $D_{\text{TEMPORARIA}} = 137 \text{ ppm}$, $D_{\text{PERMANENTE}} = 172 \text{ ppm}$ **b)** es agua muy dura **d)** m $\text{Ca}(\text{OH})_2 = 23,3 \text{ g}$ y m $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 18,42 \text{ g}$ **e)** $D_{\text{TOTAL}} = D_{\text{TEMPORARIA}} = 309 \text{ ppm}$, $D_{\text{PERMANENTE}} = 0 \text{ ppm}$.

25) Una muestra de agua contiene 19,2 mg/L de NaHCO_3 , 12 mg/L de CaSO_4 y 12 mg/L de MgSO_4 .

- Calcular el volumen de EDTA de concentración 0,01 M que se utiliza para titular 100 ml de muestra.
- Calcular la dureza total, la dureza temporaria y la dureza permanente.

Respuesta: **a)** $V_{\text{EDTA}} = 1,88 \text{ ml}$ **b)** $D_{\text{TOTAL}} = 18,8 \text{ ppm}$, $D_{\text{TEMPORARIA}} = 11,4 \text{ ppm}$, $D_{\text{PERMANENTE}} = 7,4 \text{ ppm}$.

26) Al titular una muestra de 50 ml de agua se consumen 9,5 ml de EDTA de concentración 0,01 M. Se sabe además que la muestra contiene 0,05 mmoles de ión calcio, 12 mg de ión bicarbonato y además de cierta cantidad de ión magnesio.

- Calcular la masa de ión magnesio en la muestra
- Calcular la dureza total, la dureza temporaria y la dureza permanente.

Respuesta: a) masa $Mg^{2+} = 1,08 \text{ mg}$ b) $D_{TOTAL} = 190 \text{ ppm}$, $D_{TEMPORARIA} = 190 \text{ ppm}$, $D_{PERMANENTE} = 0 \text{ ppm}$

27) Un proceso industrial necesita un caudal de $200 \text{ dm}^3/\text{h}$ de agua cuya dureza sea menor a 30 ppm de CaCO_3 . Para ello, se dispone de agua cuyo análisis químico da el siguiente resultado: 1 mmol de iones Ca^{2+} , 1 mmol de iones Mg^{2+} y 1 mmol de iones HCO_3^- por litro de agua, además de cierta concentración de haluros alcalinos. Para eliminar la dureza del agua se usa una resina ablandadora sódica (NaR) que intercambia 60 g de CaCO_3 por litro de resina.

- Calcular la dureza total y dureza temporaria y dureza permanente del agua analizada.
- Calcular el volumen del lecho de resina para que pueda operar durante 600 horas .
- La resina se puede regenerar empleando una solución de $\text{NaCl } 5 \text{ M}$ ¿qué volumen de esta solución necesitaría para regenerar totalmente a la resina empleada?
- Escribir las ecuaciones de intercambio iónico que ocurren al pasar el agua dura por la resina y al regenerar la resina con la solución de NaCl .

Respuesta: a) $D_{TOTAL} = 200 \text{ ppm}$, $D_{TEMPORARIA} = 50 \text{ ppm}$, $D_{PERMANENTE} = 150 \text{ ppm}$ b) $V_{RESINA} = 340 \text{ L}$ c) $V_{Solución \text{ NaCl}} = 81,6 \text{ L}$ d) servicio (para Ca^{2+}): $\text{Ca}^{2+} (\text{ac}) + 2 \text{ R-Na} (\text{s}) \rightarrow 2 \text{ Na}^+ (\text{ac}) + \text{R}_2\text{-Ca} (\text{s})$; regeneración (para Ca^{2+}): $2 \text{ Na}^+ (\text{ac}) + \text{R}_2\text{-Ca} (\text{s}) \rightarrow \text{Ca}^{2+} (\text{ac}) + 2 \text{ R-Na} (\text{s})$

28) Una muestra de 1 L de agua tiene una dureza total de 216 ppm de CaCO_3 . La muestra se pasa por una columna intercambiadora de iones que reemplaza iones Ca^{2+} por H^+ .

- ¿Cuál es el pH del agua después de este tratamiento?

Respuesta: a) $\text{pH} = 2,36$

29) Una muestra de agua de 25 ml contiene 2 mg de Ca^{2+} , $5,06 \text{ mg}$ de Na^+ , $0,05 \text{ mmol}$ de Cl^- , $4,96 \text{ mg}$ de NO_3^- y $2,44 \text{ mg}$ de HCO_3^- .

- Calcular la dureza total, temporaria y permanente del agua de la muestra.
- Calcular cuál sería la dureza total, temporaria y permanente de la muestra luego de hervir la muestra por media hora y filtrarla.
- Calcular cuál sería la dureza total, temporaria y permanente de la muestra luego del pasaje por 10 ml de una resina carboxílica de sodio de capacidad de intercambio 100 meq/l .

Respuesta: a) $D_{TOTAL} = 200 \text{ ppm}$, $D_{TEMPORARIA} = 80 \text{ ppm}$, $D_{PERMANENTE} = 120 \text{ ppm}$ b) $D_{TOTAL} = D_{PERMANENTE} = 120 \text{ ppm}$, $D_{TEMPORARIA} = 0 \text{ ppm}$ c) $D_{TOTAL} = D_{TEMPORARIA} = D_{PERMANENTE} = 0 \text{ ppm}$.

30) Se titulan 50 mL de una muestra de agua en presencia de buffer de $\text{pH} = 10$ con una solución de EDTA. La concentración de la solución de EDTA se puede relacionar con la cantidad de CaCO_3 en la muestra de la siguiente manera: 1 mL de EDTA consumido = 1 mg CaCO_3 en la muestra. En la titulación se gastan $10,8 \text{ mL}$ de solución de EDTA. Aparte, también se sabe que si la muestra se somete a ebullición, su dureza se reduce a 50 ppm .

- Calcular la concentración de HCO_3^- (expresada en $\text{mol HCO}_3^-/\text{l}$) en la muestra de agua.

- b) Suponiendo que la dureza se debe exclusivamente a iones Ca^{2+} , determinar la masa de Ca^{2+} en la muestra.

Respuesta: a) $[\text{HCO}_3^-] = 3,32 \times 10^{-3} \text{ mol HCO}_3^-/\text{l}$ b) m de $\text{Ca}^{2+} = 4,3 \text{ mg}$

31) Una industria requiere agua blanda para alimentar una caldera. El agua de napa disponible fue analizada y una muestra de 100 ml precisó 28 ml de solución 0,01 M de EDTA para que el indicador NET cambie de color. Otra muestra del mismo origen se sometió a ebullición y filtración. Una vez frío, el líquido resultante se tituló de igual modo. En esta ocasión, la muestra de 100 ml consumió 2,5 ml de la solución de EDTA hasta el punto final de la titulación.

- a) Calcular la dureza total, la dureza temporaria y la dureza temporaria del agua de napa.

Respuesta: $D_{\text{TOTAL}} = 280 \text{ ppm}$, $D_{\text{TEMPORARIA}} = 255 \text{ ppm}$, $D_{\text{PERMANENTE}} = 25 \text{ ppm}$.

32) Un proceso de galvanoplastia genera un efluente con un caudal de 90 L/h que contiene disuelto 150 mg/L de cromato (VI) de níquel. Del efluente se debe eliminar en su totalidad el cromato (VI) de níquel, ya que son tóxicos tanto el anión como el catión. Se propone el uso de una resina de intercambio carboxilica ácida de capacidad de intercambio 950 meq/ L_{RESINA} y una resina amoniacal alcalina de capacidad de intercambio 1150 meq/ L_{RESINA} .

- a) Indicar las ecuaciones de intercambio de iones en las resinas y dibujar un esquema de la instalación.
b) Calcular los volúmenes de resinas necesarios para que la instalación pueda funcionar durante un tiempo máximo de 100 horas antes de agotarse.
c) Para regenerar las resinas se dispone de soluciones de NaOH 8 M y HCl 6 M. Calcular los volúmenes de solución que se deben utilizar para regenerar los volúmenes de resinas calculadas en b).
d) Indicar las ecuaciones de intercambio de iones correspondientes al ciclo de regeneración de las resinas.

Respuesta:

a) resina carboxilica (1er paso): $2 \text{ R-COOH (s)} + \text{CrO}_4^{-2} \text{ (ac)} + \text{Ni}^{2+} \text{ (ac)} \rightarrow (\text{R-COO})_2\text{Ni (s)} + \text{CrO}_4^{-2} \text{ (ac)} + 2 \text{ H}^+ \text{ (ac)}$
resina amoniacal (2do paso): $2 \text{ R-NH}_3\text{OH (s)} + \text{CrO}_4^{-2} \text{ (ac)} + 2 \text{ H}^+ \text{ (ac)} \rightarrow (\text{R-NH}_3)_2\text{CrO}_4 \text{ (s)} + 2 \text{ H}_2\text{O (l)}$ b) $V_{\text{RESINA catiónica}} = 16,2 \text{ L}$ y $V_{\text{RESINA aniónica}} = 13,4 \text{ L}$ c) Vol NaOH = 1,932 L y Vol HCl = 2,576 L.