

# 63.01 / 83.01 Química

---

Departamento de Química

EJERCICIO DE DETERMINACIÓN DE DUREZA Y MÉTODO DE CAL - SODA  
GUÍA 8 : AGUAS



**.UBA**fiuba   
FACULTAD DE INGENIERÍA

83.01 / 63.01 QUÍMICA

# GUÍA DE PROBLEMAS G8

# AGUAS

EJERCICIO DE DETERMINACIÓN DE DUREZA Y MÉTODO DE CAL - SODA



# AGUAS DETERMINACIÓN DE DUREZA Y MÉTODO DE CAL - SODA

Se determinó la composición química de una muestra de agua extraída de un pozo de petróleo, encontrándose que para evitar el depósito de sarro en los tubos de extracción, es necesario eliminar la dureza presente. Se informó que la cantidad de especies iónicas de la muestra contiene: 8,36 mg de hidrógeno carbonato, 2,17 mg de magnesio, 5,34 mg de cloruro, 2,61 mg de calcio y 1,05 mg de sulfato. Considerando que la muestra tomada del pozo fue de 50 mL:

- a) Clasificar el agua según su dureza.
- b) Determinar los diferentes tipos de dureza que contiene la muestra de agua.
- c) Escribir las ecuaciones de las reacciones que suceden si se somete la muestra a ebullición.
- d) Determinar las masas de reactivos – hidróxido de calcio y carbonato de sodio - necesarias para eliminar totalmente la dureza presente en 100 L de agua, empleando el método de la cal-soda.
- e) Si la cantidad de hidrógeno carbonato en los 50 mL de muestra fuese de 32 mg, determinar los diferentes tipos de dureza para la muestra de agua.



# AGUAS DETERMINACIÓN DE DUREZA Y MÉTODO DE CAL - SODA

## DATOS:

❖  $V$  muestra = 50 mL

❖ Especies iónicas presentes =

- 8,36 mg  $\text{HCO}_3^-$
- 2,17 mg  $\text{Mg}^{2+}$
- 5,34 mg  $\text{Cl}^-$
- 2,61 mg  $\text{Ca}^{2+}$
- 1,05 mg  $\text{SO}_4^{2-}$



# AGUAS DETERMINACIÓN DE DUREZA

## a) Clasificar el agua según su dureza.

Un agua es dura cuando contiene una gran cantidad de minerales divalentes. Estos minerales pueden incrustarse en los equipos, provocando una disminución en su eficiencia.

La dureza Total de un agua se define como la suma de las cantidades de Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) existentes en ella, expresada en unidades de miligramos por litro de  $\text{CaCO}_3$ . Se toma el  $\text{CaCO}_3$  como base de cálculo ya que la masa molar de dicha sustancia es  $100 \text{ g/mol} = 100 \text{ mg/mmol}$ .

$$D_{\text{Total}} = \frac{(\text{mmol}_{\text{Ca}^{2+}} + \text{mmol}_{\text{Mg}^{2+}})}{V_{\text{muestra}} [\text{L}]} * 100 \frac{\text{mg}}{\text{mmol}} = \left[ \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right] = [\text{ppm}_{\text{CaCO}_3}]$$





# AGUAS DETERMINACIÓN DE DUREZA

Averiguamos *mmoles* de  $Ca^{2+}$ :

Como establece el enunciado tenemos en la muestra 2,61 mg de  $Ca^{2+}$ , dividimos por la masa molar del Calcio (40 mg/mmol):

$$\text{mmoles de } Ca^{2+} = \frac{2,61 \text{ mg } Ca^{2+}}{40 \text{ mg/mmol}} = 0,06525 \text{ mmoles de } Ca^{2+}$$

Averiguamos *mmoles* de  $Mg^{2+}$ :

Como establece el enunciado tenemos en la muestra 2,17 mg de  $Mg^{2+}$ , dividimos por la masa molar del Magnesio (24,3 mg/mmol):

$$\text{mmoles de } Mg^{2+} = \frac{2,17 \text{ mg } Ca^{2+}}{24,3 \text{ mg/mmol}} = 0,089 \text{ mmoles de } Mg^{2+}$$

$$D_{Total} = \frac{(0,06525 \text{ mmol}_{Ca^{2+}} + 0,089 \text{ mmol}_{Mg^{2+}})}{0,05 \text{ L}} * 100 \frac{\text{mg}}{\text{mmol}} = 308,5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \approx 309 \text{ ppm}_{CaCO_3}$$



# AGUAS DETERMINACIÓN DE DUREZA



$$D_{Total} = 309 \text{ ppm}_{CaCO_3}$$

Tabla para clasificación de agua según su Dureza para uso industrial:

0 – 50 ppm $CaCO_3$	agua blanda
50 – 150 ppm $CaCO_3$	agua semi-dura
150 – 300 ppm $CaCO_3$	agua dura
más de 300 ppm $CaCO_3$	agua muy dura

Por otro lado para el Código Alimentario Argentino ([http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/marco/caa/capitulo\\_12.php](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/marco/caa/capitulo_12.php)):

*“Con las denominaciones de Agua potable de suministro público y Agua potable de uso domiciliario, se entiende la que es apta para la alimentación y uso doméstico...”. Entre las condiciones que el CAA establece que deben cumplirse, establece que: “la dureza máxima permitida es 400 mg/L”.*

Como vemos, obtuvimos una dureza menor a 400 ppm por lo que clasificaremos esta agua como **apta para el consumo** pero industrialmente, como es mayor a 300 ppm será clasificada como:

**AGUA MUY DURA**



# AGUAS DETERMINACIÓN DE DUREZA

## COMENTARIO ADICIONAL:

Explicación de la fórmula de  $D_{Total}$ .

La dureza se informa en mg de  $CaCO_3$  por litro, que es lo mismo que decir ppm de  $CaCO_3$  por lo tanto a partir de los mmoles de  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ , vamos a tratar de llegar a ppm de  $CaCO_3$ .

$$\text{mmoles de } Ca^{2+} \text{ y } Mg^{2+} = 0,06525 \text{ mmol}_{Ca^{2+}} + 0,089 \text{ mmol}_{Mg^{2+}} = 0,15425 \text{ mmoles}$$

$$0,15425 \text{ mmoles en } 50 \text{ mL de muestra: } 50 \text{ mL} \text{ ————— } 0,15425 \text{ mmoles}$$

$$1000 \text{ mL} \text{ ————— } x = 3,09 \text{ mmoles}$$

Pasamos los mmoles a mg de  $CaCO_3$  usando la masa molar del  $CaCO_3$   $\left(100 \frac{mg}{mmoles}\right)$ :

$$3,09 \text{ mmoles} * 100 \frac{mg}{mmoles} = 309 \text{ mg en } 1000 \text{ mL} \longrightarrow \text{por lo tanto tenemos } 309 \frac{mg}{L} \approx \boxed{309 \text{ ppm}_{CaCO_3}}$$

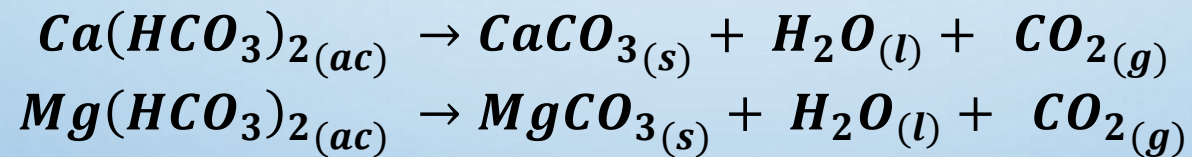




# AGUAS DETERMINACIÓN DE DUREZA

*b) Determinar los diferentes tipos de dureza que contiene la muestra de agua.*

En cuanto a su comportamiento frente al calor, la dureza total del agua se clasifica en Temporal y Permanente. Cuando una muestra de agua dura tiene bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) y se lleva a ebullición, se producen las siguientes reacciones:



Por lo que la cantidad de iones bicarbonato que hay en la muestra, determina la cantidad de iones de Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) con los que se combinarán. Dichos compuestos formados, pueden ser eliminados por calentamiento, disminuyendo así la dureza total de la muestra. Por lo tanto, se denomina *Dureza Temporal*. El resto de los iones de Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) que forman parte de la *Dureza Total* y que no se combinaron con los iones bicarbonato, se denominan *Dureza Permanente*.



# AGUAS DETERMINACIÓN DE DUREZA

$$D_{\text{Temporaria}} = \frac{(mmol_{HCO_3^-})}{2 * V_{\text{muestra}} [L]} * 100 \frac{mg}{mmol} = \left[ \frac{mg}{L} \right] = [ppm_{CaCO_3}]$$

Se debe a la estequiometría de las reacciones, ya que para consumir 1 mmol de  $Ca^{2+}$  o  $Mg^{2+}$  se necesitan 2 mmoles de  $HCO_3^-$  (formando  $Ca(HCO_3)_2$  o  $Mg(HCO_3)_2$ , respectivamente)

Averiguamos *mmoles* de  $HCO_3^-$  :-

Como establece el enunciado tenemos en la muestra 8,36 mg de  $HCO_3^-$ , dividimos por la masa molar del ión bicarbonato (61 mg/mmol):

$$mmoles \text{ de } HCO_3^- = \frac{8,36 \text{ mg } HCO_3^-}{61 \text{ mg/mmol}} = 0,1370 \text{ mmoles de } HCO_3^-$$

$$D_{\text{Temporaria}} = \frac{(0,1370 \text{ mmol}_{HCO_3^-})}{2 * 0,05 \text{ L}} * 100 \frac{mg}{mmol} = 137 \frac{mg}{L} = 137 \text{ ppm}_{CaCO_3}$$



# AGUAS DETERMINACIÓN DE DUREZA

$$D_{\text{Permanente}} = D_{\text{Total}} - D_{\text{Temporaria}}$$

Por último, averiguamos la dureza permanente de la muestra:

$$D_{\text{Permanente}} = 309 \text{ ppm}_{\text{CaCO}_3} - 137 \text{ ppm}_{\text{CaCO}_3}$$

$$D_{\text{Permanente}} = 172 \text{ ppm}_{\text{CaCO}_3}$$



Las distintas durezas de la muestra son:

$$D_{\text{Total}} = 309 \text{ ppm}_{\text{CaCO}_3}$$

$$D_{\text{Temporaria}} = 137 \text{ ppm}_{\text{CaCO}_3}$$

$$D_{\text{Permanente}} = 172 \text{ ppm}_{\text{CaCO}_3}$$



# AGUAS DETERMINACIÓN DE DUREZA

c) *Escribir las ecuaciones de las reacciones que suceden si se somete la muestra a ebullición.*

En este caso la muestra contiene iones bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) pero para saber si ocurren las dos ecuaciones presentadas en el ítem anterior tenemos que analizar los resultados obtenidos ya que el ión bicarbonato tiene más afinidad al ión  $\text{Mg}^{2+}$  que al ión  $\text{Ca}^{2+}$ . Esto significa que primero se consumirán los iones  $\text{Mg}^{2+}$  y luego los de  $\text{Ca}^{2+}$ . Por lo tanto calcularemos la dureza producida por el  $\text{Mg}^{2+}$  y la compararemos con la dureza temporaria. Generándose así tres escenarios posibles:

- Si dureza por  $\text{Mg}^{2+} < D_{\text{Temporaria}} \longrightarrow D_{\text{Temporaria}}$  estará formada por iones  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$  y  $D_{\text{Permanente}}$  sólo formada por iones  $\text{Ca}^{2+}$ .
- Si dureza por  $\text{Mg}^{2+} = D_{\text{Temporaria}} \longrightarrow D_{\text{Temporaria}}$  estará formada sólo por iones  $\text{Mg}^{2+}$  y  $D_{\text{Permanente}}$  sólo formada por iones  $\text{Ca}^{2+}$ .
- Si dureza por  $\text{Mg}^{2+} > D_{\text{Temporaria}} \longrightarrow D_{\text{Temporaria}}$  estará formada sólo por iones  $\text{Mg}^{2+}$  y  $D_{\text{Permanente}}$  formada por iones  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$ .



# AGUAS DETERMINACIÓN DE DUREZA

Averiguamos la dureza debido a la presencia de  $Mg^{2+}$ :

Previamente, en el ítem a), ya calculamos los mmoles de  $Mg^{2+}$  que contiene la muestra = 0,089 mmoles de  $Mg^{2+}$ , aplicamos entonces la fórmula para el cálculo de dureza pero sólo lo haremos para el  $Mg^{2+}$ .

$$D_{Mg^{2+}} = \frac{(0,089 \text{ mmol}_{Mg^{2+}})}{0,05 \text{ L}} * 100 \frac{\text{mg}}{\text{mmol}} = 178 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \boxed{178 \text{ ppm}_{CaCO_3}}$$

Por lo tanto, como  $D_{Mg^{2+}} > D_{Temporaria} = 137 \text{ ppm}_{CaCO_3}$ , entonces estamos en el escenario n°3, donde  $D_{Temporaria}$  estará formada sólo por iones  $Mg^{2+}$  y  $D_{Permanente}$  formada por iones  $Mg^{2+}$  y  $Ca^{2+}$ .

Esto significa que si la muestra se lleva a ebullición sólo se producirá la siguiente reacción:





# AGUAS MÉTODO DE CAL - SODA

*d) Determinar las masas de reactivos – hidróxido de calcio y carbonato de sodio - necesarias para eliminar totalmente la dureza presente en 100 L de agua, empleando el método de la cal-soda.*

El Método de Cal – Soda es un procedimiento que se utiliza para eliminar la dureza tanto temporaria como permanente de una muestra de agua. El mismo consiste en el agregado de dos sustancias a dicha muestra. Las sustancias que se utilizan son: Hidróxido de Calcio, llamado comercialmente Cal, y Carbonato de Sodio, llamado comercialmente Soda Solvay.

Al agregar dichos compuestos, el Hidróxido de Calcio eliminará la dureza temporaria del  $Mg^{2+}$  y del  $Ca^{2+}$  y también la dureza permanente debida al  $Mg^{2+}$ . Por otro lado, el Carbonato de Sodio eliminará la dureza permanente debida al  $Ca^{2+}$ , dicha dureza se debe a la presencia inicial de  $Ca^{2+}$  en la muestra y también a iones  $Ca^{2+}$  que se generaron a partir de la reacción de eliminación de la dureza permanente del  $Mg^{2+}$ .

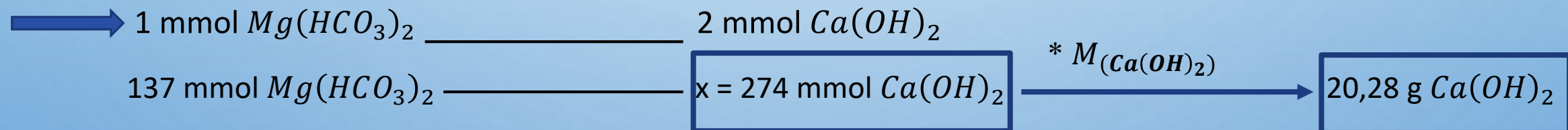
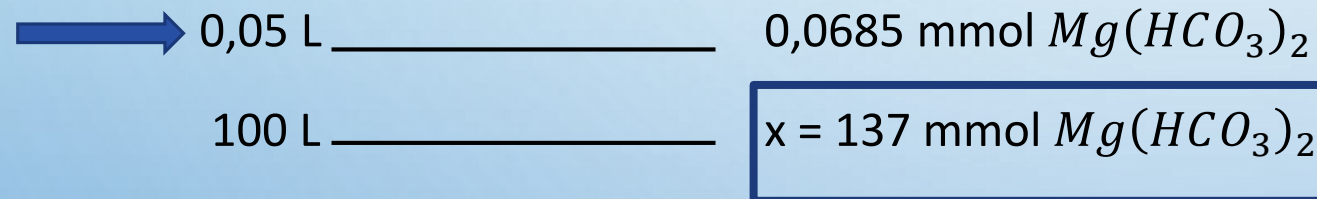



# AGUAS MÉTODO DE CAL - SODA

En este caso sólo tenemos Dureza Temporal debida a  $Mg^{2+}$ , por lo que la primera reacción que ocurrirá será:



Para calcular la masa de Cal necesaria haremos estequiometría a partir de la cantidad de Dureza Temporal que tenemos:



Masa de Cal para eliminar dureza temporal de  $Mg^{2+}$  

# AGUAS MÉTODO DE CAL - SODA

Luego ocurre la reacción de eliminación de Dureza Permanente de  $Mg^{2+}$  también a partir de Hidróxido de Calcio:

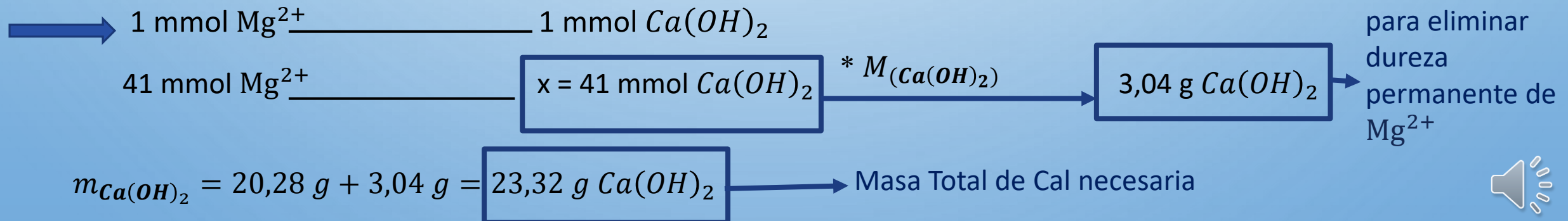


Para calcular la masa de Cal necesaria haremos estequiometría a partir de la cantidad de Dureza Permanente debido a  $Mg^{2+}$  que tenemos:



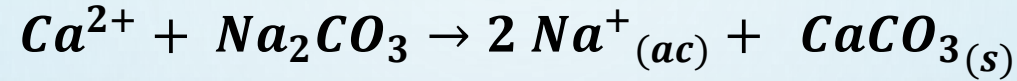
Se generaron iones de  $Ca^{2+}$  que serán eliminados en el paso siguiente

$$Mg^{2+}_{(mmoles\ perm)} = Mg^{2+}_{(mmoles\ total)} - Mg^{2+}_{(mmoles\ temp)} = 178 \text{ mmoles} - 137 \text{ mmoles} = 41 \text{ mmoles } Mg^{2+}$$

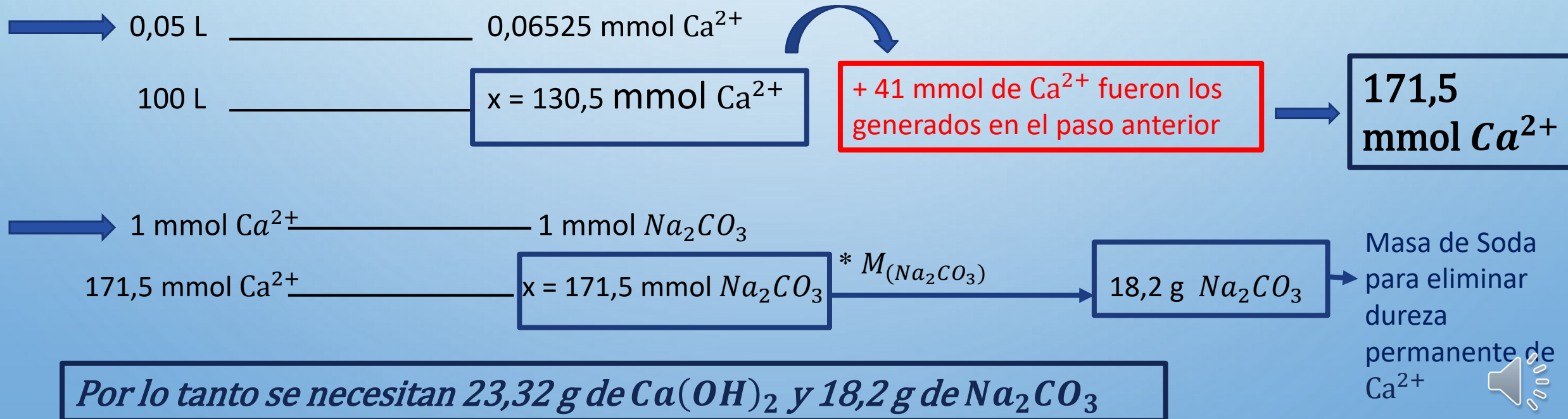


# AGUAS MÉTODO DE CAL - SODA

Luego ocurre la reacción de eliminación de Dureza Permanente de  $\text{Ca}^{2+}$  a partir de Carbonato de Sodio:



Para calcular la masa de Cal necesaria haremos estequiometría a partir de la cantidad de Dureza Permanente debido a  $\text{Ca}^{2+}$  que tenemos ya sea originalmente en la muestra como el generado en la reacción del paso anterior.





# AGUAS DETERMINACIÓN DE DUREZA

*e) Si la cantidad de hidrogeno carbonato en los 50 mL de muestra fuese de 32 mg, determinar los diferentes tipos de dureza para la muestra de agua.*

Averiguamos la nueva cantidad de *mmoles* de  $HCO_3^-$  -:

Como establece el enunciado tenemos en la muestra 32 mg de  $HCO_3^-$  -, dividimos por la masa molar del ión bicarbonato (61 mg/mmol):

$$\text{mmoles de } HCO_3^- = \frac{32 \text{ mg } HCO_3^-}{61 \text{ mg/mmol}} = 0,5246 \text{ mmoles de } HCO_3^-$$

$$D_{\text{Temporaria}} = \frac{(0,5246 \text{ mmol}_{HCO_3^-})}{2 * 0,05 \text{ L}} * 100 \frac{\text{mg}}{\text{mmol}} = 524,6 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 524,6 \text{ ppm}_{CaCO_3}$$

*Como vemos la cantidad de moles de  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  no cambió, por lo tanto la Dureza total no cambia y nunca la Dureza Temporaria puede ser mayor que la total:*

$$\longrightarrow D_{\text{Total}} = D_{\text{Temporaria}} = 309 \text{ ppm}_{CaCO_3} \text{ y } D_{\text{Permanente}} = 0 \text{ ppm}_{CaCO_3}$$

