

TEMA 7 APLICACIONES DE LOS EQUILIBRIOS DE SÓLIDOS

7.1 ABLANDAMIENTO.....	2
7.1.1 FACTORES AFECTAN A LA PRECIPITACIÓN	4
7.1.2 REACCIONES QUÍMICAS IMPLICADAS.....	5
7.1.3 TIPOS DE PROCESOS	7
7.2 RECARBONATACIÓN	10
7.2.1 RECARBONATACIÓN EN 1 ÉTAPA	11
7.2.2 RECARBONATACIÓN EN 2 ÉTAPAS.....	12
7.2.3 PROBLEMAS EN LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO ABLANDAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE AGUA.....	15

7.1 ABLANDAMIENTO

“Proceso de eliminación de la dureza (Ca, Mg)”

Aplicación a aguas de aporte

Métodos:

- a) Precipitación química**
- b) Intercambio iónico**

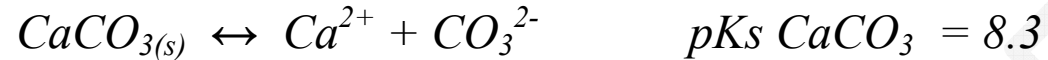
TRATAMIENTO POR PRECIPITACIÓN QUÍMICA

Este proceso emplea el **producto de solubilidad** de un compuesto que contiene un ión o radical que es considerado perjudicial y que, en consecuencia debe ser eliminado.

- La dureza cálcica se precipita como $\text{CaCO}_{3(s)}$
- La dureza magnésica como $\text{Mg(OH)}_{2(s)}$

7.1.1 FACTORES AFECTAN A LA PRECIPITACIÓN

- PRODUCTO DE SOLUBILIDAD



- TEMPERATURA

$$K_s CaCO_3 = 10^{[13.87 - 3.059/T - 0.04035T]}$$

$$K_s Mg(OH)_2 = 10^{[-0.0175T - 9.97]}$$

- pH y formación de complejos

DUREZA RESIDUAL

50 - 85 mg/L CaCO₃

Dureza cálcica 30 - 50 mg/L CaCO₃

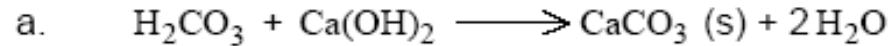
Dureza magnésica 10-20 mg/L CaCO₃

7.1.2 REACCIONES QUÍMICAS IMPLICADAS

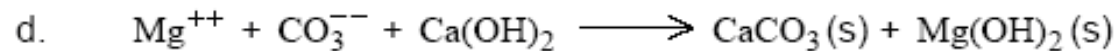
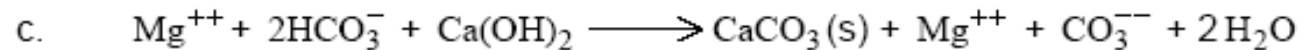
CHEMISTRY OF SOFTENING

- Excess Lime Treatment -

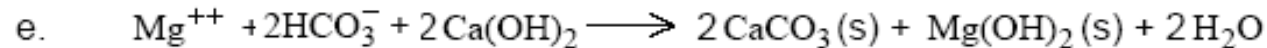
1. Dissolved CO₂ reacts with lime



2. Carbonate hardness



Net of c and d:



3. Non-carbonate hardness

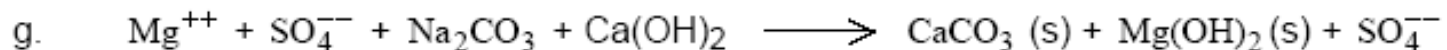
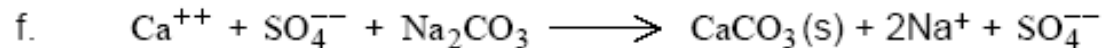
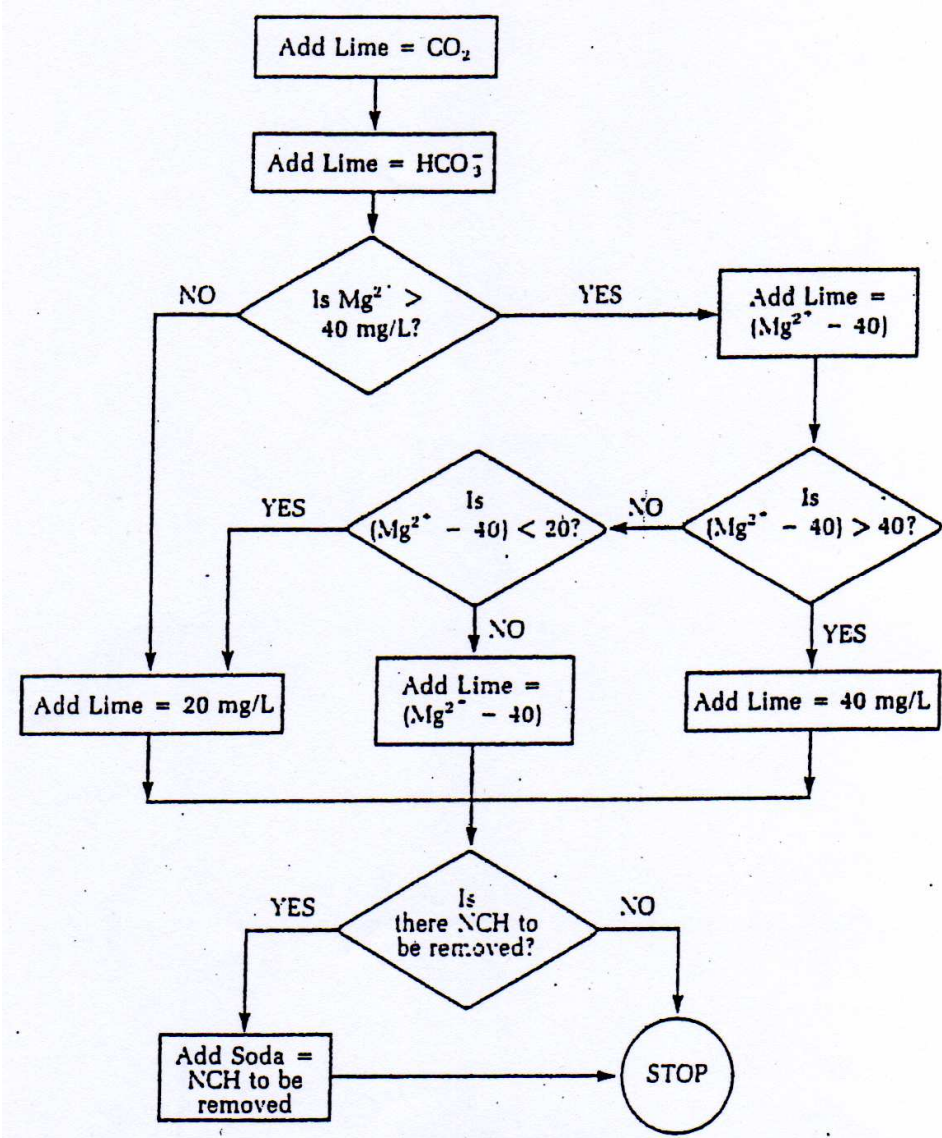


Diagrama de flujo ablandamiento



7.1.3 TIPOS DE PROCESOS

1.- Proceso de cal simple (lime): aguas con alto contenido en Ca, baja dureza de carbonato de Mg ($< 40 \text{ mg/L CaCO}_3$). No hay dureza no carbonatada.

2.- Proceso con exceso de cal (lime excess): aguas con alto contenido en dureza carbonatada de Ca y Mg. No dureza no hay carbonatada.

3.- Proceso de cal - Na_2CO_3 (lime - soda ash): aguas con alto contenido en Ca, baja dureza carbonatada de Mg ($< 40 \text{ mg/L CaCO}_3$). Dureza no carbonatada de Ca.

4.- Proceso con exceso de cal - Na_2CO_3 (lime - soda ash excess): aguas con alto contenido en Ca, elevada dureza carbonatada de Mg. Dureza no carbonatada .

Exceso = 60 mg/L CaCO_3

TIPOS DE PROCESOS

1.- Proceso de cal simple (lime) → reacciones a) y b), no se elimina el Mg

Dosis de cal = $[H_2CO_3^*] + [Ca(HCO_3)_2]$ = ácido carbónico + dureza carbonatada cálcica.

2.- Proceso con exceso de cal (lime excess) → reacciones a) y e), no hay dureza no carbonatada.

Dosis de cal = $[H_2CO_3^*] + [Ca(HCO_3)_2] + 2 [Mg(HCO_3)_2] + 60 \text{ mg/L exceso de cal}$ = ácido carbónico + dureza carbonatada cálcica + 2 dureza carbonatada magnésica + exceso cal.

3.- Proceso de cal - Na_2CO_3 (lime - soda ash) → reacciones a), f), no se elimina Mg.

Dosis de cal = $[H_2CO_3^*] + [Ca(HCO_3)_2]$ = ácido carbónico + dureza carbonatada cálcica

Dosis de Na_2CO_3 = $[CaSO_4]$ = dureza cálcica no carbonatada

4.- Proceso con exceso de cal - Na_2CO_3 (lime - soda ash excess) → reacciones
a), b), f), g)

***Dosis de cal** = $[\text{H}_2\text{CO}_3^*] + [\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2] + 2 [\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2] + [\text{MgSO}_4] + 60 \text{ mg/L}$ exceso
de cal = ácido carbónico + dureza carbonatada cálcica + 2 dureza carbonatada
magnésica + dureza magnésica no carbonatada + exceso cal.*

***Dosis de Na_2CO_3** = $[\text{CaSO}_4] + [\text{MgSO}_4]$ = dureza no carbonatada cálcica y magnesica*

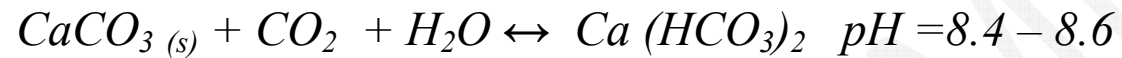
7.2 RECARBONATACIÓN

El agua saturada con carbonato de calcio a valores de pH altos, después del ablandamiento **debe estabilizarse** antes de someterse a una filtración a la que se adiciona dióxido de carbono u otro ácido

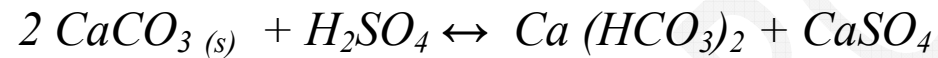
El empleo de CO₂ para la estabilización es muy común, de ahí el término **“recarbonatación”**.

7.2.1 RECARBONATACIÓN EN 1 ÉTAPA

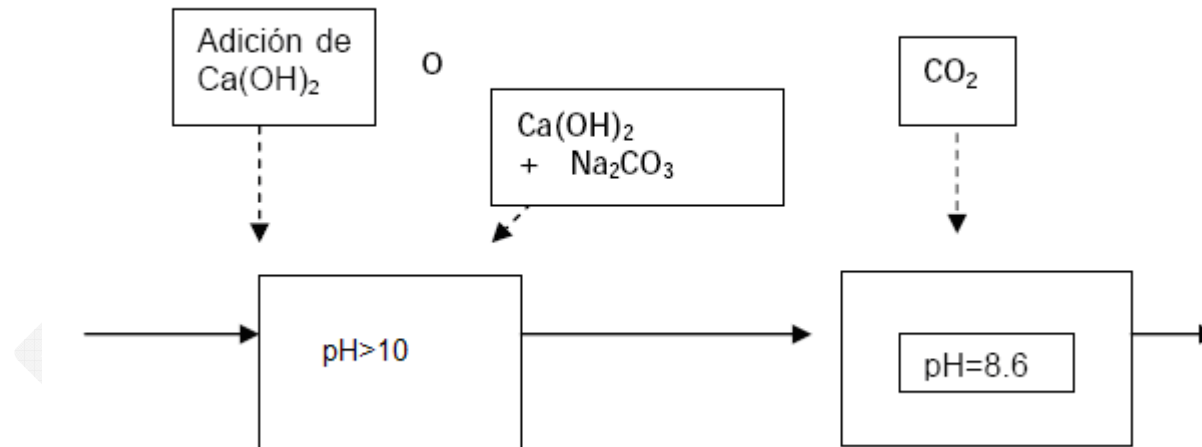
→ Para aguas con bajo contenido en Mg el pH > 10



o bien



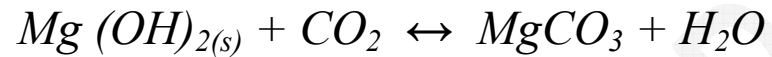
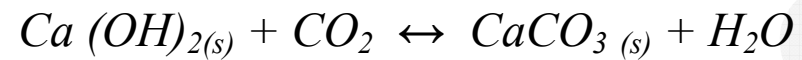
Ablandamiento en una etapa – recarbonatación



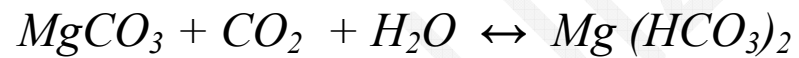
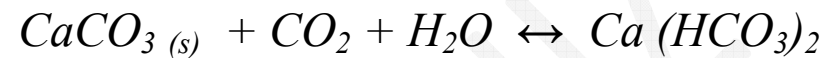
7.2.2 RECARBONATACIÓN EN 2 ÉTAPAS

Para aguas con alto contenido en Mg y el pH > 11

1ª ETAPA hasta pH = 10 – 10.5



2ª ETAPA hasta pH = 8.4 – 8.6



RECARBONATACIÓN EN 2 ÉTAPAS

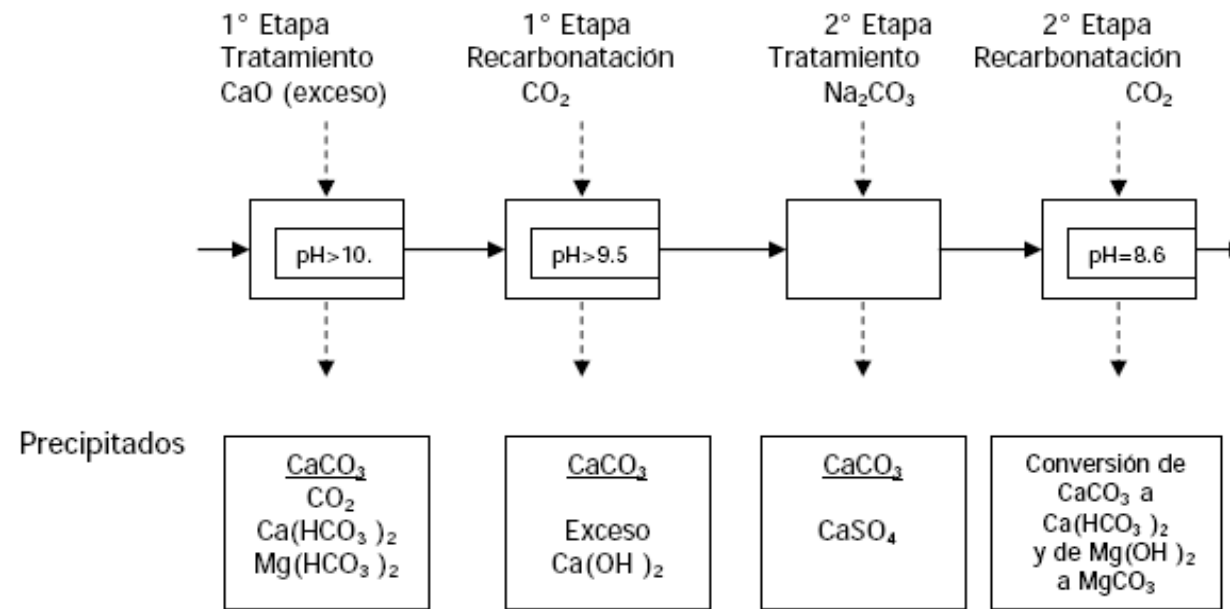


Diagrama de acondicionamiento de agua para 15 °C y 400 mg/L de sólidos disueltos totales
 $C2 = \text{ALK-Ca, MG/L como CO}_3\text{Ca}$

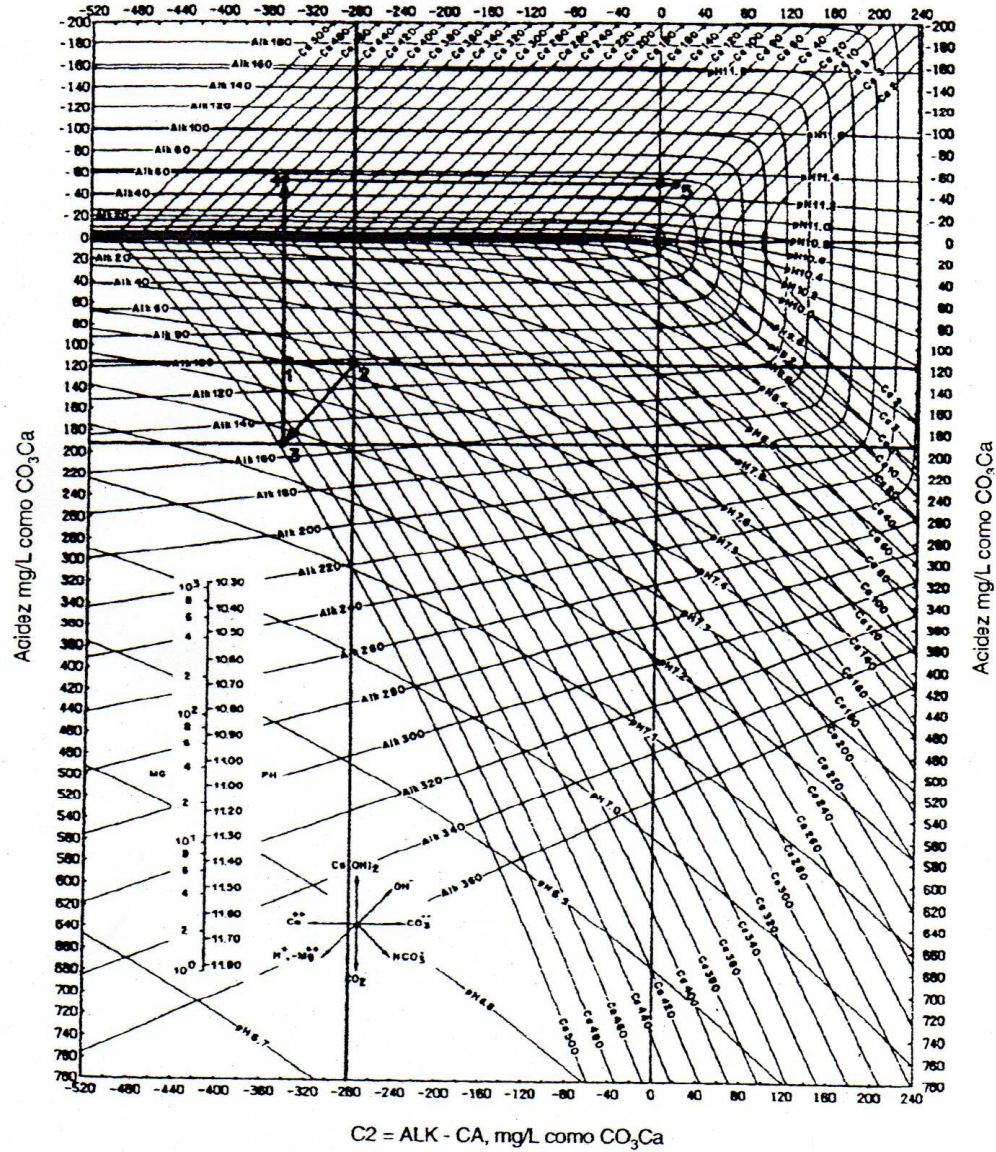


Diagrama de acondicionamiento de agua para 15 °C y 400 mg/L de TDS (Fuente: *Corrosion Control by Deposition of CO₃Ca Films*, AWWA, Denver, 1978.)

7.2.3 PROBLEMAS EN LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO ABLANDAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE AGUA

- ❖ Agua esta saturada respecto a $\text{CaCO}_{3(s)}$
- ❖ Si no es así ¿está subsaturada o sobresaturada?
- ❖ ¿Qué cantidad de productos químicos debe adicionarse para obtener agua de una alcalinidad, pH, dureza y grado de saturación respecto al CaCO_3 ?

RESOLUCIÓN:

- ❖ Sistema cerrado
- ❖ Composición del sistema antes de la dosificación
- ❖ Composición después del tratamiento
- ❖ Determinar si la solución está en equilibrio

SOLUBILIDAD DE CARBONATOS

- PARA CONOCER SI UN AGUA ESTA EN EQUILIBRIO CON $\text{CaCO}_3(\text{s})$ SE PUEDE USAR EL I.L.

✓ $I.L. = 0$ ($\Delta G = 0$)	Equilibrio
✓ $I.L. < 0$ <i>Agresivo</i>	Subsaturada
✓ $I.L. > 0$ <i>ingrústante</i>	Sobresaturada

- PARA CONOCER LA CANTIDAD DE $\text{CaCO}_3(\text{s})$ QUE PRECIPITA O SE DISUELVE
→ INTENSIDAD DE AMORTIGUACIÓN
- I.L. + INTENSIDAD DE AMORTIGUACIÓN → **POTENCIAL DE PRECIPITACIÓN**
(4-10 mg/L $\text{CaCO}_3(\text{s})$)

SOLUBILIDAD DE CARBONATOS

- ✓ En los sistemas heterogéneos la adición o eliminación de $\text{CaCO}_3(\text{s})$ no afecta a la acidez total. Es decir, la acidez es constante en soluciones en contacto con calcita o sedimentos. Esto es debido a que:

$$\textit{Acidez Total} = 2 [\text{H}_2\text{CO}_3^+] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{H}^+] - [\text{OH}^-], \text{ no hay } \text{CO}_3^{2-}$$

- ✓ Para sistemas con precipitación: *mientras se de la precipitación y la disolución)*

$$\textit{Alcalinidad Total} - [\text{Ca}^{2+}] = \textit{Constante} \text{ (en eq/L)}$$

- ✚ Una ligera sobresaturación de $\text{CaCO}_3(\text{s})$ y alcalinidad elevada aumenta la capacidad de amortiguación del agua contra el CO_2 generado en los sistemas de distribución y evita la corrosión
- ✚ Aguas con bajo Ca y poca alcalinidad baja intensidad de amortiguación se debe elevar el IL para evitar corrosión