

Una Introducción a la Dureza del Agua

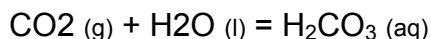
Nociones Básicas de Química

Cuando las sustancias iónicas se disuelven en agua estas se separan en los iones que las constituyen. Por ejemplo, cuando el cloruro de sodio NaCl (sal común) se disuelve en agua se forman el ion sodio Na⁺ (el positivo o catión) y el ion cloruro Cl⁻ (el negativo o anión). Estos iones permanecen en solución a menos que ocurra algo que los haga precipitarse como sólidos; por ejemplo si el agua se evapora de una solución salina, la solución se satura y cristales de sal comienzan a precipitar. El proceso de disolución no es una reacción química por lo que puede revertirse con medios físicos en lugar de químicos.

Las Causas de la Dureza

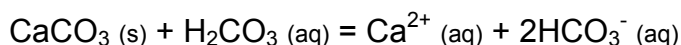
Por lo general la dureza del agua es causada por la presencia de iones calcio (Ca²⁺) y iones magnesio (Mg²⁺) disueltos en el agua. Otros cationes como el aluminio (Al³⁺) y el hierro (Fe³⁺) pueden contribuir a la dureza, sin embargo su presencia es menos crítica.

La forma de dureza más común y problemática es la causada por la presencia de bicarbonato de sodio (Ca(HCO₃)₂). El agua la adquiere cuando la lluvia pasa por piedra caliza (CaCO₃). Cuando el agua de lluvia cae disuelve dióxido de carbono (CO₂) del aire y forma ácido carbónico (H₂CO₃), por lo que se acidifica ligeramente :



En la ecuación anterior g= gas, l= líquido y aq= acuoso (i.e. disuelto en agua). En la siguiente ecuación s= sólido.

El carbonato de sodio (CaCO₃) no es muy soluble en agua, sin embargo, cuando el ácido diluido pasa por la piedra caliza reacciona formando bicarbonato de sodio (Ca(HCO₃)₂) que sí es soluble en agua:



Por lo tanto, el agua de lluvia toma iones calcio Ca²⁺ y iones bicarbonato HCO₃⁻ y se vuelve dura. Cuando el agua dura se calienta las dos reacciones anteriores se revierten y se forma carbonato de calcio, agua y dióxido de carbono:



El carbonato de calcio (CaCO₃) es mucho menos soluble en agua que el bicarbonato de calcio (Ca(HCO₃)₂) por lo que se precipita formando un sólido conocido como *sarro*, *incrustaciones* o *incrustaciones de calcio*. Como este tipo de dureza es fácil de remover se le conoce como *dureza temporal*. El sarro aparece por lo general alrededor de sistemas de agua caliente y elemento de calentamiento. Sin embargo, si el agua es extremadamente dura se puede formar sarro en tuberías de agua fría [3].

Otros tipos de dureza temporal son causados por la presencia de iones magnesio Mg²⁺ y la precipitación de hidróxido de magnesio (Mg(OH)₂) puede contribuir a los problemas de incrustaciones.

La combinación de iones de calcio Ca^{2+} y magnesio Mg^{2+} con iones cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}) y nitrato (NO_3^{2-}) se conoce como *dureza permanente*. Por ejemplo en algunas áreas el sulfato de calcio CaSO_4 puede causar una dureza considerable. La dureza permanente no puede ser removida hirviendo el agua.

El término *dureza total* es usado para describir la combinación de dureza de magnesio y calcio. Sin embargo, los valores de dureza se reportan por lo general en términos de carbonato de calcio (CaCO_3) porque es la causa principal de las incrustaciones. La clasificación estándar se muestra a continuación [3]:

Dureza	mg/L como CaCO_3
Moderada	60-120
Dura	120-180
Muy dura	Más de 180

Problemas Causados por la Dureza

- Se necesita más jabón para lavar (el jabón no hace espuma). Algunos detergentes modernos son menos eficientes porque los aniones (también conocidos como surfactantes), reaccionan con los iones calcio Ca^{2+} y magnesio Mg^{2+} en lugar de retener las partículas de mugre en suspensión [5].
- El jabón hecho a base de grasa animal puede reaccionar con el ion calcio Ca^{2+} y magnesio Mg^{2+} formando un precipitado que puede irritar la piel y arruinar la ropa.
- Algunos alimentos, particularmente los frijoles y los chícharos, cuando son cocidos con agua dura se endurecen. Los iones de calcio alteran algunas moléculas dentro de los frijoles, por lo que la estructura que se forma no deja pasar el agua y el frijol permanece duro. Una manera simple para contrarrestar este efecto es la adición de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) al agua donde se van a cocer los frijoles [1,11,12].
- El sarro puede tapar tuberías y conexiones. Además de hacer menos eficiente hasta en un 90% los elementos de calefacción con una capa de 25mm de carbonato de calcio (CaCO_3) [2].

Ablandamiento

Existen tres maneras básicas para ablandar el agua:

- Forzar la precipitación de las sustancias insolubles, como el carbonato de calcio CaCO_3 y el hidróxido de magnesio $\text{Mg}(\text{OH})_2$, antes que entren al sistema de agua.
- Remover los iones de calcio Ca^{2+} y magnesio Mg^{2+} del agua.
- Evitar que los iones de calcio (Ca^{2+}) del carbonato de calcio CaCO_3 se precipiten por medio de la formación de complejos.

A. Ablandamiento Cal- Soda-Lime Softening

Se agrega cal (hidróxido de calcio Ca(OH)_2) y **soda ash** (carbonato de sodio Na_2CO_3) al agua para causar la precipitación del carbonato de calcio CaCO_3 y magnesio Mg(OH)_2 .

En sistemas municipales se agrega el hidróxido de calcio Ca(OH)_2 al agua y el sólido precipitado se remueve por medio de la sedimentación. Algunas pequeñas partículas permanecen por lo que se burbujea dióxido de carbono para convertir estas pequeñas partículas en bicarbonatos solubles. Debido a que alguna de esta dureza se conserva este proceso es conocido como *ablandamiento parcial*.

En una escala menor se puede agregar carbonato de sodio Na_2CO_3 al agua dura que va a ser utilizada para lavar ropa.

B. Intercambio Cationico

Este proceso sustituye los iones calcio Ca^{2+} y magnesio Mg^{2+} por otros iones que no contribuyen a la dureza como lo son el ion sodio Na^+ y el ion potasio K^+ . Esto se logra haciendo fluir el agua por un contenedor lleno de una resina que contenga los iones sodio y potasio. Los iones en la resina son intercambiados por los iones causantes de la dureza del agua. Una vez que todos los iones de la resina han sido intercambiados, la resina ya no puede remover más iones calcio Ca^{2+} y magnesio Mg^{2+} hasta que esta se regenere usando cloruro de sodio NaCl o cloruro de potasio KCl . Este método es más común para sistemas domésticos.

El intercambio catiónico es un método de *ablandamiento total* porque remueve toda la dureza del agua.

C. Formación de Complejos

Otro de los métodos usados en los ablandadores domésticos de agua es la adición de polifosfatos (que contengan el ion $\text{P}_6\text{O}_{18}^{6-}$) al agua. Estos iones rodean los iones calcio Ca^{2+} disueltos y evitan que estos se precipiten como carbonato de calcio CaCO_3 . Este proceso es conocido como formación de complejos.

Aparatos Eléctricos y Magnéticos Anti-sarro

La utilización de campos magnéticos y eléctricos para prevenir las incrustaciones es un tema muy debatible. No existen datos consistentes que prueben cómo funcionan estos métodos o si en realidad funcionan. Sin embargo, parece que funcionan en algún grado bajo ciertas circunstancias [7, 8, 9].

La idea de los aparatos anti-sarro no es remover los iones calcio Ca^{2+} o el carbonato de calcio sino precipitar el carbonato de calcio CaCO_3 de tal forma que no cause un sarro sólido que se incruste. En teoría el carbonato de calcio CaCO_3 al pasar por estos aparatos permanece en suspensión como partículas finas o se deposita como un sedimento de fácil remoción. A continuación una explicación de cómo sucede lo anterior:

El agua pasa por un campo magnético o eléctrico que causa un incremento localizado de pH (via una reacción electroquímica que involucra un electrón donde una molécula de oxígeno O_2 forma un ion hidróxido OH^-). El incremento de pH permite que el cristal de carbonato de calcio $CaCO_3$ se forme en el agua. Estos minúsculos cristales se pegan para formar coloides. Como estos coloides son arrastrados por el agua no se incrustan en la superficie de la tubería y las siguientes precipitaciones de carbonato de calcio $CaCO_3$ se depositarán sobre los coloides y no sobre la tubería. Por lo tanto el carbonato de calcio $CaCO_3$ se mantiene en suspensión como partículas finas y si ocurre alguna sedimentación será en forma de un sarro removible.

Debido a que este método requiere una corriente eléctrica el agua debe fluir a través de un campo magnético (para inducir la corriente), por lo que el magneto no tendrá efecto en el agua estática. Al parecer esto se ha comprobado experimentalmente [10].

Estos aparatos son utilizados normalmente en sistemas de calentamiento y de agua caliente. Sin embargo muchos de los usuarios a nivel doméstico parecen decepcionados por el poco efecto que tienen, particularmente en el uso del jabón. Sin sedimentación el carbonato de calcio $CaCO_3$ no será removido del agua y la composición química de está no cambiará. Por lo que la única manera de determinar la eficacia de estos magnetos en contra de la formación de sarro se podrá observar a largo plazo en las tuberías. Por el contrario, los usuarios a nivel industrial que continuamente bombean la misma agua a través del sistema de calentamiento (y el magneto) parecen los más satisfechos con estos aparatos. [2].

Evidencia anecdótica sugiere que los frijoles que antes no podían cocerse en agua extremadamente dura, ahora sí se cuecen en el agua proveniente de la misma fuente que pasa por el aparato magnético. Esto se puede explicar con el hecho de que el aparato causa que los iones calcio Ca^{2+} , que no permiten el ablandamiento de los frijoles [11, 12], puedan ser removidos de la solución como partículas finas de carbonato de calcio $CaCO_3$.

Debido a que el proceso por el cual funcionan estos aparatos magnéticos no es ampliamente entendido y debido a que los experimentos no han podido repetirse (en diferentes laboratorios alrededor del mundo) lo que funciona en un sistema de agua puede no funcionar en otro. Experimentos realizados por la Universidad de Cranfield (UK) sugieren que el grado en que estos aparatos magnéticos funcionan es afectado por la dureza y alcalinidad de las aguas [2].

Sobreablandamiento

El exceso de ablandamiento del agua también puede tener efectos adversos en la corrosión de las tuberías de hierro y acero galvanizado. Agua muy blanda puede también contribuir al desgaste de los tanques de concreto [5].

Normalmente, el interior de tuberías ferrosas son protegidas por una capa que se forma cuando el agua fluye dentro de ellas, esta capa contiene carbonato de calcio $CaCO_3$ y hierro Fe. Si agua muy blanda (agresiva) pasa por una tubería galvanizada la capa protectora de zinc es lentamente removida exponiendo el acero. Además si no existen suficientes iones de calcio Ca^{2+} en el agua los componentes de calcio del concreto pueden lixiviarse y causar deterioro en la integridad de la estructura.

Por esta razón debe tenerse mucho cuidado cuando se usen métodos de ablandamiento total en agua que pasará por tuberías ferrosas.

Nombres Químicos comunes

Bicarbonato – NaHCO_3 Bicarbonato de Sodio
Sosa Cáustica – NaOH Hidróxido de Sodio
Tiza– tipo de piedra caliza que es en su mayoría carbonato de calcio
Cal – CaOH Hidróxido de calcio
 Na_2CO_3 Carbonato de Sodio
 Na_2CO_3 Hidróxido de Sodio
Cal viva* - CaO Oxido de Calcio

* Se les llama Cal al hidróxido de sodio CaOH y al óxido de sodio CaO . Cuando al óxido de sodio se le agrega agua se forma hidróxido de sodio CaOH , la solución resultante se llama Calhidra. El óxido de calcio que se forma por calentamiento del calcio en la presencia de oxígeno se llama cal viva.

Referencias

1. Rural Water Supply And Sanitation, 3rd edition, Forrest B. Wright, Robert E. Krieger Pub. Co., 1977.
2. Antiscale Magnetic Treatment, The School Of Water Science, Cranfield University, <http://www.cranfield.ac.uk/sims/water/magnet.htm>
3. Theory And Practice Of Water And Waste Water Treatment, Ronald L. Droste, John Wiley and Son Inc., 1997.
4. Water-Resource Engineering, 4th edition, Ray K. Linsely, Joseph B. Franzini, David L. Freyberg, George Tchobonolous, Mcgraw-Hill International Editions, 1992.
5. Prevension Of Corrosion And Scaling In Water Supply Systems, L. Legrand, P. Leroy, Ellis Harwood, 1990.
6. Magnetic Water Treatment And Related Pseudo science, <http://www.chem1.com/CQ/magscams.html>
7. Magnetic Water And Fuel Treatment: Myth, Magic Or Mainstream Science? <http://wwwcsicop.ore/si/9801powwel.html>
8. Budget Water USA, http://budgetwater.com/magnets_dont_work.htm
9. Magnetic Water “Conditioning” Lime Fighters (faqs at the bottom of page) <http://plumbingstore.com/limefighters.html>
10. Softening Water – Magic Realism (first published in The Economist, 2/3/1996) http://www.mtnhigh.com/mag_econ.html
11. The Effect Of Water Quality On Food, O. Peter. Snuder <http://www.hitm.com/documents/chem-h2o.htm>
12. The Effects Of The Calcium Ion On Cooked Dry Beans, Mark A. Uebersax Find the PFD file at <http://math.unl.edu/~jump/center/labs/>

Diciembre 2004.