

PRECIPITACIÓN QUÍMICA DE CALCIO Y MAGNESIO

8.0 ABLANDAMIENTO CON CAL/SODA ASH

La dureza excesiva en el agua es un factor indeseable para muchos usos del agua. Desde el punto de vista sanitario no existe una opinión general a este respecto. Algunos mencionan que el exceso de dureza en el agua causa problemas en el sistema circulatorio de los consumidores. Otros consideran lo contrario e indican que donde se consume agua de baja dureza, es mayor la incidencia de enfermedades de este tipo.

La Organización Mundial de la Salud así como la EPA, La Secretaría de Salud y otras agencias reguladoras, no establecen ningún parámetro máximo, ya que concluyen que no hay relación entre daños a la salud y exceso de dureza en el agua.

Por lo tanto, un usuario o consumidor, puede tener la certeza que el agua es segura, independientemente del contenido de calcio y magnesio. Sin embargo la dureza, desde el punto de vista de cualidades y características del agua potable, es el principal problema en su uso y aplicaciones, ya que se ha estimado que un 80% de las quejas de los usuarios del agua reportan problemas causados por el alto contenido de sales de calcio y magnesio.

La formación de sarro en tuberías industriales y domésticas, los problemas en equipos de enfriamiento con agua y el uso de estas aguas en calderas y calentadores, demandan un tratamiento previo en el agua con excesiva dureza.

8.1 MEDIOS DE DISMINUCIÓN DE LA DUREZA:

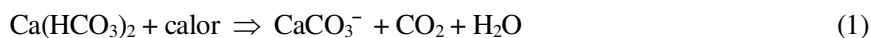
Ablandamiento por intercambio iónico: Una de las formas más convenientes y prácticas de remover la dureza en el agua, es por medio del uso de resinas intercambiadoras de iones en ciclo sódico.

Este tratamiento ya ha sido descrito anteriormente y consiste del paso del agua a través de una cama o lecho de resina sintética, que tiene en su superficie iones sodio que están dispuestos a intercambiarse por otro catión que tienen mayor afinidad por los grupos funcionales de la resina, como lo es el calcio Ca^{+2} y el magnesio Mg^{+2} . Una vez que la resina se satura y no tiene más sitios disponibles para intercambio, ésta se regenera y el ciclo se inicia nuevamente.

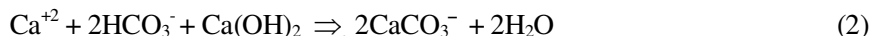
Si el volumen de agua a tratar no es muy grande, el uso de las resinas es la mejor opción, pero si el consumo de agua es excesivamente grande, por ejemplo: el que pudiera tener una planta Municipal de agua potable, la precipitación química de calcio y magnesio sería una opción a considerar.

Precipitación química: El carbonato de calcio CaCO_3 y el hidróxido de magnesio $\text{Mg}(\text{OH})_2$ son sales sumamente insolubles, por lo que precipitan fácilmente. El calcio y el magnesio en el agua, generalmente se encuentran en forma de bicarbonatos, los cuales son solubles.

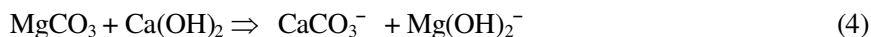
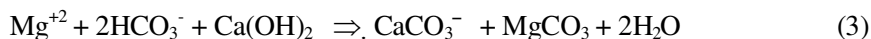
Cuando el agua se calienta (por ejemplo en una caldera), o cuando se evapora al medio ambiente (por ejemplo en un plato húmedo que se deja secar), los bicarbonatos de calcio cambian a carbonatos y precipitan formando un sarro



Esta particularidad es precisamente la empleada en el proceso de ablandamiento cal-soda ash. Para convertir los bicarbonatos de calcio y de magnesio a formas químicas menos solubles se agrega cal viva (CaO) ó cal apagada [$\text{Ca}(\text{OH})_2$], y el bicarbonato de calcio se transforma a carbonato de calcio.



Mientras que el magnesio precipita como hidróxido de magnesio a través de las reacciones 3 y 4.



Y sumando las ecuaciones (3) y (4) tenemos:



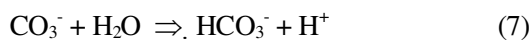
Las anteriores ecuaciones químicas nos indican que se requiere de hidróxido de calcio y de bicarbonato para que ocurra la precipitación.

El hidróxido de calcio necesario se agrega como tal, mientras que el ión bicarbonato es proporcionado por la misma alcalinidad del agua, que casi siempre se encuentra como alcalinidad de bicarbonatos. Esta alcalinidad no es suficiente, por lo que se requiere de la adición de alguna sal que proporcione el ión bicarbonato.

La sal que generalmente se emplea es el carbonato de sodio o soda ash, la cual se disuelve en agua y proceden las siguientes reacciones:

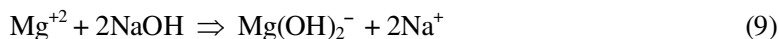


El carbonato se hidroliza y proporciona el ión bicarbonato necesario para la reacción de precipitación:

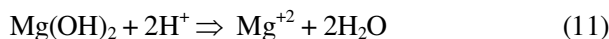


El resultado final en este proceso de tratamiento, es que el calcio y el magnesio, independientemente de que se encuentren como bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos, etc, son precipitados por la acción conjunta de la cal y el carbonato de sodio, y por eso se le llama proceso cal/soda ash.

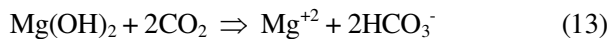
La dureza del agua también puede eliminarse con sosa cáustica. Estas reacciones son las siguientes:



En teoría, el calcio y el magnesio deberían aparecer como parte del precipitado en forma de carbonato e hidróxido, pero debido a que el agua producida arrastra algo del sólido sedimentado, este puede redisolverse y precipitar posteriormente en partes del equipo. Para evitar esto, y para nuevamente regresar el agua a condiciones de pH neutro, se agrega ácido, lo cual disminuye el pH del agua desde 11.0 hasta condiciones cercanas a la neutralidad. Este proceso de "estabilización" que también se le llama de recarbonatación, se efectúa de la siguiente manera:



También se puede lograr la estabilización con la inyección de CO_2 .



Este último proceso, que es la neutralización con bióxido de carbono, es el que se prefiere, ya que de esta manera es más seguro alcanzar el pH cercano a siete, y además se recupera la alcalinidad del agua, lo cual es muy importante para las propiedades buffer que toda agua natural debe tener.

Bajo condiciones normales de operación de una planta típica de ablandamiento de agua por precipitación química, no es posible remover toda la dureza en su totalidad, por lo que se tiene un residual de dureza de 40 ppm de CaCO_3 y 10 ppm de $\text{Mg}(\text{OH})_2$, valores que son muy adecuados para los usos comunes del agua en la industria y en los servicios.

El proceso cal/soda ash en la práctica: En la práctica el proceso de ablandamiento por precipitación química se realiza en tanques o reactores tal como el que se presenta en la Figura 1:

En éste tipo de reactor el agua a tratar o influente entra por la parte inferior del tanque a un compartimiento donde una propela a alta velocidad agita y mezcla el agua con los reactivos químicos (cal y carbonato de sodio) que se inyectan en forma de solución a través de otra línea hidráulica. El precipitado que se forma pasa a una segunda sección del tanque-reactor y los lodos producidos que son principalmente carbonato de calcio e hidróxido de magnesio, sedimentan al fondo del tanque de donde son extraídos a través de una tubería y procesados como desecho sólido. El efluente o agua suavizada se colecta a través de las canaletas dispuestas en la parte superior del tanque para enviarlas al siguiente paso de tratamiento.

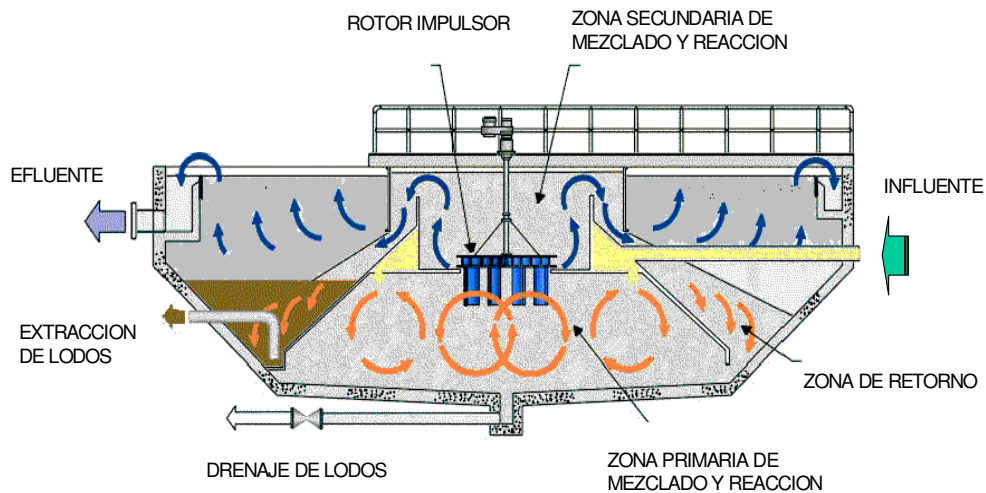


Figura 1: Reactor para precipitación química en el proceso cal/soda ash.

El agua que sale del reactor como efluente es demasiado alcalina y debe neutralizarse para su posterior uso. Una forma de neutralizar el agua es agregándole algún ácido mineral tal como ácido clorhídrico o sulfúrico, pero se prefiere añadir bióxido de carbono ó CO_2 y el agua alcanza un pH neutro a través de las reacciones (13) y (14) anteriores. Aunque el CO_2 es mas caro que otros ácidos, se tiene la ventaja de que en el agua se recupera la alcalinidad, lo cual no ocurre con la adición de un ácido mineral, y la alcalinidad del agua es muy importante ya que este parámetro es el que indica las propiedades buffer al agua, para amortiguar los bruscos cambios de pH que pudiesen existir, cuando el agua es expuesta al medio ambiente. Otra ventaja de la dosificación de bióxido de carbono es que una sobredosis de CO_2 no causa ningún problema en el agua, ya que el exceso de bióxido de carbono que no reacciona se pierde en contacto con el aire.

Consideraciones del proceso: Tanto en el proceso de suavización o ablandamiento por resinas intercambiadoras en ciclo sódico, como en el proceso de precipitación química, ocurre una reacción de intercambio. El sodio se integra al agua que se trata y el calcio y magnesio son retenidos en la resina o precipitan como un lodo, en el proceso cal/soda ash.

La regeneración de la resina implica un gasto, y conlleva a un problema de contaminación, ya que al regenerarse se agregan cantidades de cloruro de sodio mayores a las que se requieren estequiométricamente y el exceso va a dar al drenaje. También, en el paso de regeneración se intercambia el calcio y el magnesio adherido a la resina (y otros cationes que pudiesen haber sido retenidos junto con éstos) por sodio, y los cationes desprendidos son desechados. Si no se tiene un sistema para retener y darle tratamiento a los residuos, éstos finalmente contaminan el agua del drenaje que ocasionalmente es tratada y reciclada para darle uso nuevamente.

De la misma manera, si se precipitan calcio y magnesio con cal y carbonato de sodio, se genera un residuo sólido, que es más fácil de controlar, pero que también implica un costo en su manejo.

Por otra parte, el agua que se obtiene después del proceso sea éste por resinas intercambiadoras o por precipitación química, ciertamente ya no es un agua que genere incrustación de carbonato, pero el contenido

de sodio es mayor (y también su conductividad eléctrica) que en el agua original, lo cual puede interferir para ciertos usos y procesos.

Otra ventaja de ambos procesos de ablandamiento, es que en el caso de las resinas de intercambio, algunos metales tóxicos que el agua pudiese tener como: plomo, cadmio, arsénico, etc. son removidos en mayor o menor grado. En la precipitación química también son removidos los metales tóxicos y algunos metales indeseables como hierro y manganeso, los cuales son insolubles como hidróxidos. También el fósforo precipita en este proceso y desde luego, al inducir a la formación de un precipitado, los sólidos coloidales o turbidez del agua es removida en el mismo tanque de reacción.