

## OPERACIONES UNITARIAS

Apunte Complementario para Temas: Generación de Vapor (Petróleos) y Adsorción (Industrial y Petróleo).-

### TRATAMIENTO DE AGUAS PARA PRODUCCIÓN DE VAPOR

#### Introducción

La calidad del agua de alimentación de una caldera es tan importante para su buen funcionamiento como la calidad del combustible.

Las aguas naturales tienen siempre en disolución cantidades variables de sales minerales: cloruros, sulfatos, bicarbonatos, nitratos, etc., de sodio, calcio, magnesio, silicio y otros elementos. De estas sales, las de calcio y magnesio principalmente constituyen la "dureza del agua".

La cantidad de impurezas del agua, se mide o especifica de varias maneras, una de ellas es establecer el contenido de sales disueltas en *mg / litro* o sea partes por millón (ppm) valor que se considera como si estuviese constituido solamente por  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , equiparando las equivalencias correspondientes a cada otra sal disuelta en el agua.

La dureza se mide por "grados", existiendo varias escalas de medición: la alemana, la francesa, la inglesa y la americana. Unas miden en términos de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , otras en Oca. Esto aparece ilustrado en el sig.cuadro:

<i>1° Francés</i>	= 10 ppm en términos de $\text{CO}_3\text{Ca}$
<i>1° Alemán</i>	= 10 ppm en términos de Oca ó 17,9 ppm en términos de $\text{CO}_3\text{Ca}$
<i>1° Inglés</i>	= 14,3 ppm en términos de $\text{CO}_3\text{Ca}$ (equivalente a 1 grano/ galón imperial)
<i>1° Americano</i>	= 17,1 ppm en términos de $\text{CO}_3\text{Ca}$ (equivalente a 1 grano/ galón americano)

La dureza creciente del agua, disminuye su potabilidad, observándose comúnmente una creciente dificultad en la formación de espuma con el jabón. Con respecto a las calderas, los problemas son cada vez mayores y se hace más difícil su adecuada corrección. En Argentina, es de uso común utilizar la escala de durezas en grados franceses.

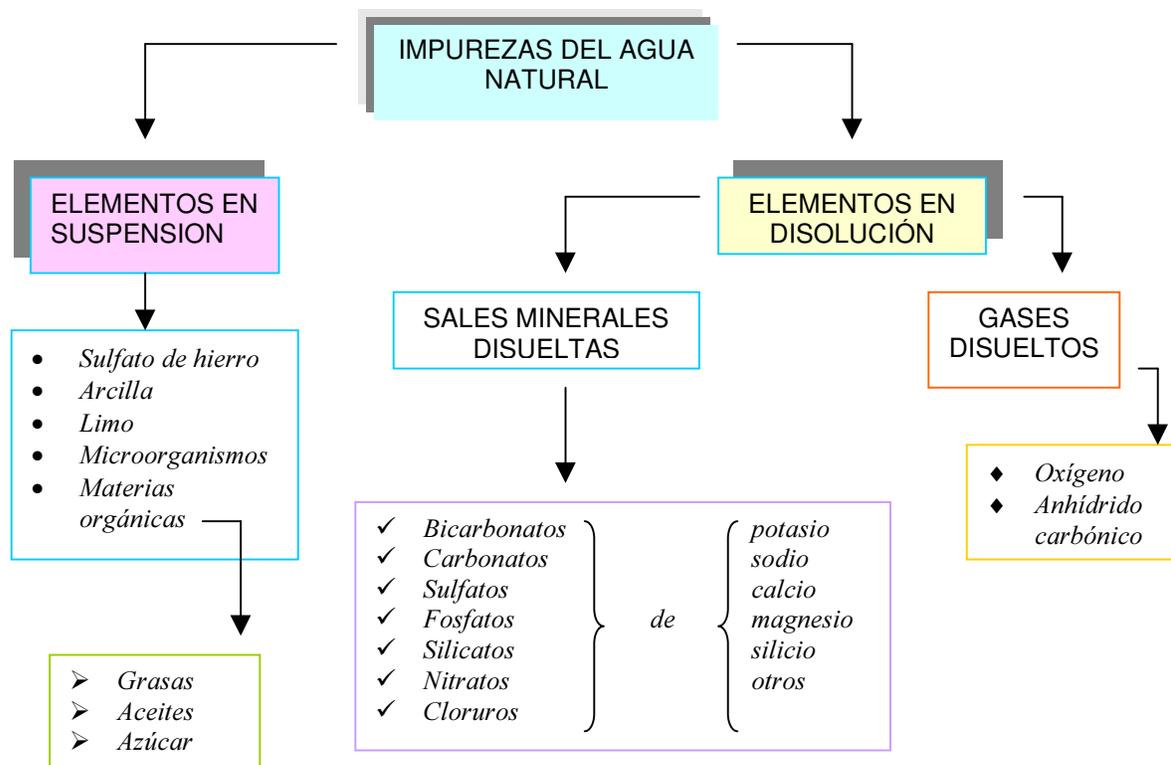
En general puede aceptarse una clasificación, según la dureza, como ésta:

<u>Grado de Dureza Francesa</u>	<u>Caracteres del agua</u>
0 – 2	Muy blanda
2 – 4	Blanda
4 – 7	Semidura
7 – 12	Dura
más de 12	Muy dura

Las sales disueltas en el agua tienen un comportamiento variable para la marcha de la caldera. Las de sodio son muy solubles y su solubilidad aumenta con la temperatura; cuando la concentración es muy alta, causan problemas en la marcha del generador de vapor.

Las sales de calcio y magnesio son las responsables de los mayores inconvenientes, pues son las que principalmente originan las incrustaciones. Lo mismo cabe decir del silicio, que además, cuando las presiones de trabajo son muy altas, puede ser arrastrado por el vapor y depositarse en las paletas de las turbinas. Otro problema que puede surgir con el agua de alimentación de la caldera, es la existencia de gases disueltos (oxígeno y anhídrido carbónico), que son los causantes de corrosión en el metal.

Finalmente, el agua puede haberse contaminado de materias orgánicas: grasas, aceite, azúcar, etc., que causan también serias dificultades de operación.



La dureza del agua puede ser temporaria debida a los bicarbonatos y carbonatos. Se llama así porque calentada a las temperaturas de ebullición, estas sales precipitan en forma de fangos blandos. La dureza permanente es debida a los sulfatos, cloruros y nitratos. Estas sales tienen una solubilidad, que disminuye con el aumento de la temperatura y en el agua concentrada de la caldera se llega fácilmente a la saturación, produciéndose precipitados de estas sales que causan incrustaciones duras y de difícil eliminación.

Los fangos, en cambio, son arrastrados por la purga de fondo. Las incrustaciones, una vez adheridas a los tubos y colectores, sólo pueden ser eliminados por medios mecánicos (turbinas de limpieza) o por procedimientos de desincrustación química (con ácidos inhibidos).

Los inconvenientes causados por las incrustaciones, son bien conocidos. Disminuye el coeficiente de transmisión de calor, con la consiguiente baja del rendimiento. Un eventual desprendimiento de las incrustaciones pone en contacto las superficies fuertemente recalentadas del tubo con el agua, lo que puede causar deformaciones o posiblemente la falla del mismo.

Las sales de sodio, al contrario de las de calcio y magnesio, tienen una solubilidad que aumenta con la temperatura y es por ello que difícilmente se llegue a la saturación. Pero el aumento creciente de sólidos disueltos y contenidos en el agua, otorga a ésta mayor viscosidad, dificultando la liberación de las burbujas de vapor. Puede llegarse con altos contenidos de sólidos en disolución, a tener ebulliciones tumultuosas, y a la formación de espuma, lo que puede dar origen a arrastres de agua por el vapor.

Ello puede ser de graves consecuencias. Se producen golpes de ariete en las tuberías y en las turbinas y máquinas de vapor puede llegar a producir graves daños. Por otra parte el nivel resulta incierto, debido a las distintas densidades del agua dentro y fuera del domo (burbujas de vapor, espuma, etc.). Este problema se presenta igualmente cuando el agua es excesivamente alcalina.

#### **Preparación del agua para calderas.**

El agua natural nunca es agua pura. Aparte de las materias que puede llevar en suspensión, contiene disueltas sustancias minerales u orgánicas en proporción raras veces superior al 0,1 %. Algunos de estos componentes son, como el oxígeno, gases que se desprenden en la caldera y pueden causar serias corrosiones; otros productos, como el bicarbonato cálcico, sufren descomposición por la temperatura que reina en la caldera, y al transformarse en carbonato precipitan; otros, cual el sulfato cálcico, poco soluble, alcanzan con facilidad su concentración de saturación, y precipitan también. La dificultad principal no está en que se

forme precipitado, si su cantidad no es excesiva, y si permanece en suspensión formando lo que se llama un lodo; lo que hay que evitar es que el precipitado, por sus propiedades adherentes se fije sobre la superficie de la caldera, constituyendo una costra de carácter pétreo, poco conductora, que dificulta la transmisión del calor al agua y que para mantener la misma velocidad específica de transmisión,  $q / A = U \cdot \Delta t$ , obliga a forzar la combustión y, por consiguiente, la temperatura de la cara exterior de las superficies de transmisión; esto limita la vida del acero o, incluso, puede llegar a hacer que se sobrepase el límite de resistencia de este material que, como se sabe, pierde características de resistencia a temperaturas elevadas.

Un agua puede contener mucha cantidad de sustancias disueltas y, sin embargo, no ser dura. La dureza de las aguas se debe a las sales cálcicas o magnésicas que contiene en disolución (dureza total). Es corriente expresar la dureza en grados. Hay dos escalas a este respecto, la francesa y la alemana. Es corriente expresarse en términos de esta última:

$$\begin{aligned} 1^\circ \text{d (alemán)} &= 10 \text{ mg CaO/l de agua} \\ &= 7,19 \text{ mg MgO/l de agua.} \end{aligned}$$

Dentro de las sales cálcicas y magnésicas contenidas ordinariamente en las aguas naturales, se pueden distinguir dos grupos:

1) Los bicarbonatos, que se descomponen por la acción del calor .(en la caldera, p. ej.):



dando carbonato insoluble que prácticamente elimina una parte de los iones  $\text{Ca}^{++}$  de la disolución, y

2) Aquellas otras sales (cloruros, sulfatos, etc.) que no precipitan su catión por análogo proceso. Se dice que las primeras constituyen la dureza temporal, y las segundas, la dureza permanente. La suma de ambas es la dureza total.

Además de los componentes productores de dureza, tienen importancia en la formación de costra la sílice y ciertos compuestos de Al y de Si que acompañan al agua con relativa frecuencia.

### **Teoría de la formación de la incrustación**

La incrustación está constituida, en la mayor parte de los casos, principalmente por  $\text{CO}_3\text{Ca}$  o por  $\text{SO}_4\text{Ca}$ .

A estos productos les acompañan en proporción variable:  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  fosfatos de calcio complejos, silicatos, etc. Se admite que para que se forme costra es preciso que la solubilidad de la sal disuelta disminuya al aumentar la temperatura. Consideremos la base de una burbuja que todavía no se ha desprendido de la chapa de la caldera; el circulito de chapa correspondiente se encontrará momentáneamente recalentado y, por lo mismo, también estarán recalentados los bordes de la burbuja que se hallan en contacto con esta parte de la chapa; el agua se sobresatura y precipitan las sales. Desprendida la burbuja, al ser tocada por el agua la chapa recalentada, vuelve a haber sobrecalentamiento y sobresaturación del agua, y la aparición de nuevo precipitado adherido al metal. Investigadores consideran que, dentro del mismo mecanismo fundamental, la adherencia del precipitado se debe a que la formación de burbujas es tan rápido que el sólido -sal- depositado bajo una burbuja no tiene tiempo de ser lavado y eliminado por el agua antes de que se forme la burbuja siguiente.

Se ve, pues, que las dos variables del proceso de formación de la incrustación son:

El coeficiente de solubilidad (  $ds/dt$  ) de la sal y la velocidad de vaporización (que será proporcional a la de transmisión de calor, (  $dQ/d\Theta$  ). Si se expresa por (  $de/d\Theta$  ) la velocidad con que crece el espesor de costra, se tiene:

$$de/d\Theta = -k ( ds/dt )^m ( dQ/d\Theta )^n$$

en la que  $m$  y  $n$  son dos constantes. Al ser negativo (  $ds/dt$  ) para el  $\text{SO}_4\text{Ca}$  (y para el  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), el segundo miembro da valores positivos para (  $de/d\Theta$  ) y tanto mayores cuanto mayor es la velocidad de vaporización.

Sin embargo, esto que se cumple en cierto modo para el  $\text{SO}_4\text{Ca}$ . es distinto para el  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , pues la mayor parte del carbonato que precipita en una caldera lo hace en el seno del agua y por descomposición del bicarbonato, en cuyo caso, la tendencia de este precipitado es a formar lodo y no costra. Por otra parte, la solubilidad del  $\text{CO}_3\text{Ca}$  se modifica tanto por la presencia de otros iones (introducidos con los reactivos de ablandamiento) que no es fácil admitir su precipitación por igual mecanismo y con iguales consecuencias que en el caso del  $\text{SO}_4\text{Ca}$ .

La costra está formada, principalmente. por  $\text{SO}_4\text{Ca}$ .  $\text{CO}_3\text{Ca}$ .  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ .,  $\text{CO}_3\text{Mg}$ ,  $\text{SiO}_4\text{Ca}$  y  $\text{SiO}_4\text{Mg}$ , en algunos casos también por  $(\text{PO}_4)_3\text{Ca}_3 \cdot 2\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

### **Purificación de las aguas para calderas**

Un tratamiento completo de las aguas para calderas exige la eliminación de todos los componentes perjudiciales, los que pueden hallarse como:

- a) Materias en suspensión.
- b) Materias disueltas (dureza).
- c) Gases disueltos.

La eliminación de las materias en suspensión se efectúa por clarificación (filtración o sedimentación) antes o después del tratamiento para eliminar la dureza, según la naturaleza de ésta. Raras veces se utilizan filtros cerrados, a presión; son más frecuentes los filtros por gravedad, con capas de arena como material filtrante. Para ayudar a los procesos de clarificación o filtración es práctica corriente incorporar al agua una cierta dosis de disolución de  $(\text{SO}_4)_3\text{Al}$ . o  $\text{SO}_4\text{Fe}$ . Estas sales se hidrolizan y dan los hidróxidos correspondientes, que en forma de flóculos retienen buena parte de las impurezas insolubles en el agua que son fácilmente filtrables o difícilmente sedimentables. La cantidad de sulfato de aluminio a incorporar al agua se suele calcular por la existente de  $(\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca}$ ; cada grado de dureza debida al bicarbonato reacciona con 40 mg de  $(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  comercial (de 12 a 14 % de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). La dosis de sulfato debe ser tal que en el agua quede aún libre de 0,5 a 1°d temporal.

Generalmente, con 20-30 g/m<sup>3</sup> es suficiente para obtener una buena formación de flóculos. Cuando en el agua faltan bicarbonatos se añaden, junto con el sulfato,  $\text{CO}_3\text{Na}_2$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , etc.. para suplir su acción. El agua, no obstante, no debe llegar a ser alcalina (fenoltaleína).

La eliminación del aire y  $\text{CO}_2$  disueltos es preciso efectuarla para evitar corrosiones. Se utiliza para ello el hecho de que al elevar la temperatura o al reducir la presión, disminuye la solubilidad. Industrialmente se utilizan ambos fenómenos: calentamiento del agua y producción del vacío. Si la calefacción es por vapor directo, entonces la condensación de éste produce el vacío necesario; es preciso no obstante, un eyector de aire para arrastrar los gases desprendidos y no condensables. Para mayor eficacia se trabaja con gran subdivisión de la masa de agua. Los aparatos funcionan como columnas de desorción (stripping).

El oxígeno disuelto se puede eliminar también por vía química (Kestner), haciendo pasar el agua por un lecho de hierro metálico, especialmente preparado, que lo fija al estado de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Para completar la desaireación previa, y aun para evitar la acción perjudicial del aire (oxígeno) que pueda penetrar en el agua ya desaireada (p. Ej. en las aguas de retorno de una instalación de vaporización), se añade al agua depurada  $\text{SO}_4\text{Fe}$ . La acción de esta sal es doble: al hidrolizarse produce  $\text{SO}_4\text{H}_2$  y  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  coloidal. El primero satura la alcalinidad que pudiera quedar como consecuencia del tratamiento químico, y el  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  retiene  $\text{O}_2$  transformándose en  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Para esta última misión se utilizan también, en ocasiones, sustancias tánicas y  $\text{SO}_3\text{Na}_2$ .

Conviene hacer notar que la desaireación es el último paso en el proceso de depuración de aguas para calderas: primero, ordinariamente, es la filtración o sedimentación (con o sin adición de  $(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2$ ), después el ablandamiento (desendurecimiento) y, por último, la desaireación.

### **Ablandamiento de aguas.**

Tiene por objeto eliminar del agua los componentes salinos causantes de la dureza. Con tal fin se utilizan varios métodos que pueden clasificarse de la siguiente forma:

- 1 Métodos físicos (destilación).
- 2 Métodos físicoquímicos (intercambio iónico).
- 3 Métodos químicos.

*La destilación.* Es útil cuando es poca la cantidad de agua a ablandar respecto a la cantidad de agua a evaporar en la caldera; es decir, se puede aplicar en donde se aprovechan las aguas condensadas - de retorno- empleándolas para alimentar de nuevo la caldera. Sin embargo, para evitar las dificultades que pueden provenir al contaminarse estas aguas en los condensadores, etc., lo corriente es hacer que preceda a la destilación una depuración química. La ventaja principal de la destilación es que da un agua que, por ser destilada, está casi totalmente desprovista de sales disueltas; pero es práctica generalmente poco económica.

*Métodos basados en el intercambio iónico.* Utilizan zeolitas (aluminosilicatos de sodio), como la natrolita y la analcina, que intercambian sus iones alcalinos por los cálcicos y magnésicos existentes en el agua. Con esto, el agua pierde su dureza casi totalmente (la dureza residual no

suele sobrepasar la cifra de 5 partes por millón) saliendo del tratamiento casi sin iones calcio pero con un mayor contenido en iones sodio. Esto puede ser una dificultad, pues el  $\text{CO}_3\text{HNa}$  formado por intercambio, pasa en la caldera a  $\text{CO}_3\text{Na}_2$  que, por hidrólisis, libera iones  $\text{OH}^-$  en cantidad tal que pueden producir la corrosión cáustica de la caldera (Esta forma particular de corrosión es de tipo intercrystalino, muy peligrosa, y se debe tanto a la presencia de relativamente altas concentraciones de  $\text{OH}^-$ , como a la existencia de tensiones en la chapa de la caldera. Estas tensiones producen la rotura de la capa de óxido - hidróxido de hierro a que, inicialmente, da lugar el ataque, y permiten que prosiga el fenómeno. El sulfato sódico y también el fosfato sódico actúan como inhibidores, pues cristalizan en las fisuras y rellenan los espacios capilares producidos inicialmente por el ataque).

Para evitarla, se añade al agua, después del intercambio, ácido sulfúrico o, mejor, fosfórico que forman las correspondientes sales sódicas (inhibidoras) a costa del carbonato y bicarbonato.

En lugar de las zeolitas naturales o artificiales, se emplean también, con éxito, ciertas resinas sintéticas que poseen las mismas propiedades.

### **Métodos químicos para ablandamientos de aguas.**

Aunque brevemente, trataremos los cinco métodos más importantes y generales para el ablandamiento de aguas por vía química:

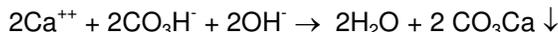
- a) Método de la cal-sosa.
- b) Método de la sosa cáustica.
- c) Método de la sosa.
- d) Método del carbonato bórico,
- e) Método del fosfato sódico.

En todos ellos la dureza desaparece por precipitación de los iones cálcicos y magnésicos.

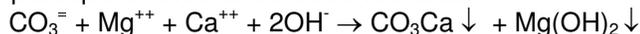
#### **a) MÉTODO DE LA CAL-SOSA**

Utiliza como reactivos el agua de cal,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y el  $\text{CO}_3\text{Na}_2$  disol. Es el más económico y, por esto, y por su capacidad para ser adaptado a casi todos los tipos de aguas naturales, constituye el método más utilizado.

El  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  suministra los  $\text{OH}^-$  necesarios para precipitar el  $\text{Ca}^{++}$  procedente del  $(\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca}$ , como carbonato cálcico:

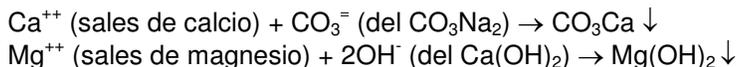


Por un proceso análogo se forma  $\text{CO}_3\text{Mg}$  del bicarbonato magnésico; pero esta sal es suficientemente soluble para que se efectúe esta otra reacción:

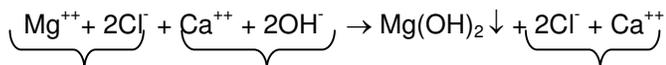


por lo que se precipita  $\text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow$  cuyo producto de solubilidad es mucho menor que el del carbonato magnésico. Hasta aquí hemos visto cómo se ha eliminado la dureza temporal.

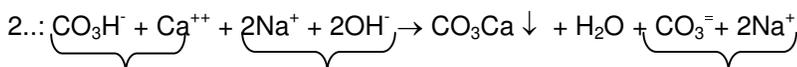
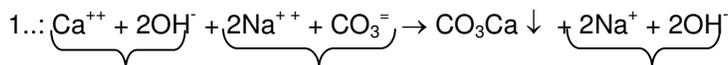
La dureza permanente desaparece por las reacciones siguientes:



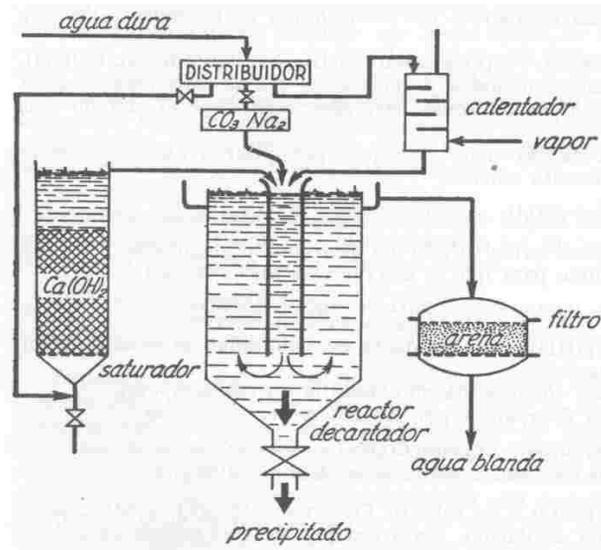
Los aniones correspondientes a las sales de  $\text{Ca}^{++}$  y de  $\text{Mg}^{++}$  ( $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{--}$ , principalmente) permanecen en disolución, junto con los  $\text{Na}^+$  del carbonato sódico. Así pues, persiste sensiblemente el mismo contenido en materias disueltas, pero con la diferencia de que han sido sustituidos  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{Ca}^{++}$  por  $\text{Na}^+$ , con lo que la formación de incrustaciones no es posible. Los únicos iones  $\text{Ca}^{++}$  subsistentes son los correspondientes a los aniones de las sales magnésicas (no bicarbonato ni sulfatos), pues el  $\text{Mg}^{++}$  se insolubiliza por el  $\text{OH}^-$  del  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y no por el  $\text{CO}_3^-$  del  $\text{CO}_3\text{Na}_2$  como vimos antes:



En todo el proceso hay dos reacciones secundarias:



que, como se ve. constituyen una variante de la eliminación de la dureza temporal cálcica. También por este procedimiento pierde el agua su  $\text{CO}_2$  disuelto, que es precipitado como  $\text{CO}_3\text{Ca} \downarrow$ . Como quiera que se trata de reacciones en disoluciones diluidas, para acelerarlas (y con ello disminuir el tamaño de la instalación) se procede a calentar el agua.

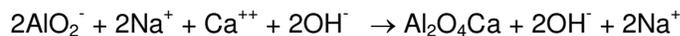


Esta calefacción contribuye, a su vez, a la mejor aglomeración de los precipitados ya su más pronta separación por decantación, a la par que se filtran mejor. Si la temperatura es de  $80^\circ\text{C}$ , el desendurecimiento llega hasta  $0,8-1^\circ\text{d}$  residual; si se alcanzaron los  $100^\circ\text{C}$ , el resto de dureza es próximo a los  $0,3^\circ\text{d}$ .

Las instalaciones grandes trabajan en forma continua y según el esquema de la figura anterior. El agua a depurar se distribuye en tres corrientes: la 1ª pasa a saturarse de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; la 2ª, al carbonato sódico, y la 3ª a ser calentada con vapor directo.

Las tres corrientes se vuelven a reunir a la entrada del reactor-clarificador, donde se mezclan en movimiento descendente para luego ascender dejando en el fondo la mayor parte del precipitado. Una filtración por filtro de arena elimina las fracciones más finas de precipitado. Las corrientes 1 y 2 se gradúan de acuerdo con la proporción de reactivos necesaria y con la velocidad de flujo conveniente en el reactor-clarificador para que se completen los procesos, etc.

Una variante del método cal-sosa consiste en la adición de  $\text{AlO}_2\text{Na}$ . La hidrólisis de esta sal conduce a la formación de  $\text{NaOH}$  y  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ; la alcalinidad producida por el hidróxido de sodio permite reducir la cantidad necesaria de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y la presencia del  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , coloidal y de micelas positivas, se encarga de coagular una cierta fracción del  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  que se mantiene en el líquido como micelas negativas muy hidratadas y de difícil separación, El aluminato sódico se suele incorporar en mezcla con la cal y la sosa, En realidad, en tal caso, la mezcla depuradora contiene propiamente  $\text{Al}_2\text{O}_4\text{Ca.aq.}$  y  $\text{NaOH}$ , resultantes de reaccionar el aluminato sódico con la cal:

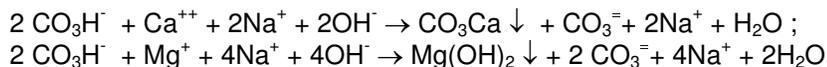


Pero a medida que van teniendo lugar las reacciones de ablandamiento y van desapareciendo iones  $\text{OH}^-$  y  $\text{CO}_3^-$  (por precipitar  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  y  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), el aluminato cálcico se va hidrolizando paulatinamente. restituyendo la alcalinidad y produciendo la alúmina coloidal que precipitará, por coagulación, las micelas de  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ :



#### b) ABLANDAMIENTO MEDIANTE $\text{NaOH}$ .

Sólo es aplicable cuando las aguas deben su dureza principalmente a los bicarbonatos. y cuando tienen poco  $\text{CO}_2$  Las reacciones son fáciles de formular:



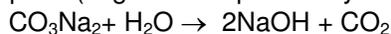
El  $\text{CO}_3^{=}$  y el  $\text{Na}^+$  formados hacen que las reacciones de eliminación de la dureza permanente sean las mismas que en el procedimiento cal-sosa.

c) PURIFICACIÓN CON  $\text{CO}_3\text{Na}_2$

Se utiliza para acondicionar aguas cuya dureza no se debe a los bicarbonatos y que son pobres en sales magnésicas, pues el  $\text{Mg}^{++}$  no pasa aquí de la forma  $\text{CO}_3\text{Mg}$  (no se llega al  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  que es el realmente insoluble). Los bicarbonatos de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  pasan a bicarbonato de sodio y a  $\text{CO}_3\text{Ca}$ . En la caldera, aquél sufre descomposición:



y el  $\text{CO}_3\text{Na}_2$  también se descompone (según la temperatura y la presión):



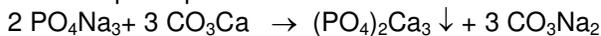
reacción que es origen de ciertas corrosiones. además de que la alcalinidad introducida por la ionización del  $\text{NaOH}$  motiva la precipitación como incrustación del  $\text{Mg}^{++}$  en forma de hidróxido:



Esta precipitación es tanto más acentuada cuanto mayor sea la presión de trabajo (la temperatura) de la caldera, pues tanto mayor es la descomposición del  $\text{CO}_3\text{Na}_2$  y, por lo mismo, la concentración de iones  $\text{OH}^-$  (de la sosa cáustica).

d) MÉTODO DEL FOSFATO TRISÓDICO.

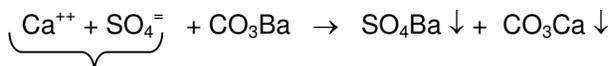
Consiste en calentar previamente el agua dura con vapor directo, con lo cual pasan a carbonatos los bicarbonatos, y se eliminan por desorción el  $\text{CO}_2$  y otros gases disueltos. Pasa el agua luego a un primer reactor-decantador, donde se une a una cierta cantidad de agua purgada de la caldera, que es de reacción alcalina (por lo que luego se verá) con lo que se descomponen los bicarbonatos aún existentes con precipitación de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ . Pasan las aguas luego a un segundo reactor-decantador en el que se les incorpora disolución de  $\text{PO}_4\text{Na}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  en cantidad conveniente para que



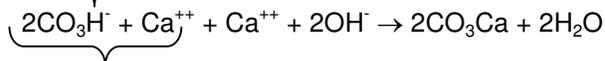
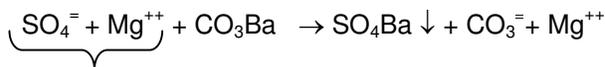
Este  $\text{CO}_3\text{Na}_2$  es el que suministra la alcalinidad necesaria para la descomposición de los bicarbonatos citada anteriormente. Se dice que por este procedimiento se puede obtener agua con un grado de dureza prácticamente nulo.

e) MÉTODO DEL CARBONATO BÁRICO.

Es particularmente apto para tratar aguas selenitosas. Se obtiene entonces un agua no sólo ablandada, sino que va casi totalmente desprovista de sales:



Si el agua bruta lleva bicarbonato cálcico y sales magnésicas, se precisa adicionar  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  para obtener buenos resultados, pues el bicarbonato bórico es soluble y también lo es el  $\text{CO}_3\text{Mg}$ :



El inconveniente de este procedimiento es el alto precio del reactivo ( $\text{CO}_3\text{Ba}$ ).

**Métodos varios para el acondicionamiento de aguas para calderas.**

Es de reciente introducción para esta finalidad, la adición de hexametáfosfato sódico al agua que es dura por un elevado contenido en calcio. El hexametáfosfato sódico  $(\text{PO}_3\text{Na})_6$  da lugar a la formación del complejo  $[(\text{PO}_4)_6\text{Ca}_2]\text{Na}_2$ , en el que el  $\text{Ca}$  está formando parte del anión complejo, en cuyas condiciones no puede comportarse como tal ion  $\text{Ca}^{++}$  (no es precipitable con oxalato, p. ej.). El tratamiento de agua por hexametáfosfato (Calgon, comercialmente) se conoce como método umbral. También se emplea el Calgon para adicionarlo a las aguas cálcicas siempre que hayan de pasar por un cambiador donde se calienten y haya riesgo de

precipitación de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , o donde puedan hacerse alcalinas. También parece tener acción anticorrosiva en muchos casos. Se han empleado también adiciones al agua de sustancias coloidales de tipo orgánico (agar-agar, taninos, gelatinas, mucilagos), que actúan como coloides protectores impidiendo la fijación del  $\text{CO}_3\text{Ca}$  y del  $\text{SO}_4\text{Ca}$ , por detener la precipitación en su fase previa de formación de núcleos coloidales (Como se sabe, éstos, al coagular, dan partículas de mayor tamaño, que son las que constituyen el precipitado.). Parece ser que la presencia de estas sustancias regula la ebullición del agua en la caldera, eliminando los saltos y reduciendo la formación de espuma y, con ello, la humedad del vapor formado.

Por último, cuatro palabras sobre algún método eléctrico que parece dar buenos resultados. Consiste en colocar en el depósito de alimentación de la caldera unas pequeñas ampollas de vidrio llenas con gases inertes y que contienen una pequeña cantidad de mercurio para hacer contacto con dos electrodos metálicos. El flujo de agua produce oscilaciones de las ampollas con lo cual, y por el movimiento del mercurio, se conecta y desconecta la corriente en los electrodos originándose unos chispazos con la consiguiente producción de radiación ultravioleta. El resultado es que las precipitaciones que puedan producirse en esta agua en la caldera no se adhieren a las superficies de calefacción, sino que quedan en forma de lodo.-