

TRATAMIENTO DE AGUAS PARA GENERADORES DE VAPOR

El generador de vapor , como cualquier otro equipo, debe ser alimentado con agua y combustible que cumpla con ciertas condiciones en cuanto a su calidad para obtener el buen funcionamiento del mismo, obtener vapor de buena calidad, disminuir al mínimo el mantenimiento necesario y lograr la máxima vida útil del equipo. Nos ocuparemos aquí del agua de alimentación de calderas.

El agua natural desde su trayectoria de las nubes hasta los ríos y napas, entra en contacto con distintas sustancias que se incorporan a ella formando lo que se llama impurezas. Éstas dependerán de los tipos de suelos que hayan atravesado las aguas hasta el momento en que nosotros la analicemos. Éstas sustancias que forman las impurezas del agua, pueden ser:

- A) materias en suspensión.
- B) sales solubles
- C) gases disueltos

Las materias en suspensión dependen del arrastre que produce el agua, y pueden ser sustancias orgánicas y arcillosas. Las sales en solución depende del recorrido que haya tenido el agua hasta su utilización, con qué minerales entró en contacto. Los gases disueltos generalmente son los atmosféricos, o pueden provenir de algún tipo de contaminación.

Las sustancias en suspensión se *determinan* en los análisis, determinando ***materias en suspensión*** y el tipo de sustancia se determina hallando la ***demanda bioquímica de oxígeno, hidrocarburos, oxidabilidad al permanganato.***

Los análisis mas comunes de gases son la determinación de ***oxígeno disuelto.***

Las sales que se determinan son las de ***Calcio , Magnesio, hierro, alcalinidad*** para ver si hay bicarbonatos depositables en caliente, ***PH***, etc.

En nuestra zona se encuentra la posibilidad de extraer agua de : a) ***lagunas***, b) ***río*** y c) ***pozos.***

- A) De ***lagunas*** :Es un agua generalmente clara, proveniente de lluvias, en ocasiones con muy pocas sales, oxígeno disuelto y materias orgánicas variables.
- B) Agua de ***río*** : es generalmente acompañada de mayor cantidad de sustancias orgánicas, oxígeno disuelto y sales disueltas.
- C) Agua de ***pozo*** : con muy poca cantidad de sustancias orgánicas, sin oxígeno disuelto y con más cantidad de sales disueltas que en las anteriores.

De acuerdo al comportamiento de las distintas sustancias, que forman las impurezas del agua, se las puede dividir en cinco grupos:

Grupo 1 : Sales incrustantes

$\text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_2$ Bicarbonato de calcio

$\text{Mg}(\text{CO}_3\text{H})_2$ Bicarbonato de magnesio

Porque bajo la acción del calor se transforman en los carbonatos neutros prácticamente insolubles.

Ca SO_4 Sulfato de calcio

Grupo 2 : Sales corrosivas

Porque reaccionan liberando iones H_2^+ .

MgSO₄ Sulfato de magnesio
CaCl₂ Cloruro de calcio.
MgCl₂ Cloruro de magnesio.

Grupo 3 : Sustancias no incrustantes.

Son de coeficiente de solubilidad muy elevado.

Na₂CO₃ carbonato de sodio
Na₂SO₄ Sulfato de sodio
Na₃PO₄ Fosfato trisódico.
ClNa Cloruro de sodio.
Na(OH) hidróxido de sodio.

Grupo 4 :

La sílice (**SiO₂**) en sus varias formas.

Grupo 5: Gases

O₂ oxígeno
CO₂ anhídrido carbónico
N₂ nitrógeno.
SH₂

Las sales de **Ca** y **Mg** de los grupos 1 y 2 , son las que constituyen la dureza del agua. En particular las sales del primer grupo precipitan dando lugar a los fangos e incrustaciones.

La sílice forma compuestos incrustantes en presencia de **Ca** y **Mg**, pero también precipita en forma de gel de sílice. La *sílice*, además, a presiones altas es arrastrada por el vapor y se deposita en los alabes de la turbina.

En el **Ca SO₄** la acción incrustante prevalece sobre la acción corrosiva a causa de su baja solubilidad.

Las sustancias del tercer grupo, comienzan a precipitar con concentraciones muy elevadas, que se hallan muy por encima del límite admisible en calderas.

Los *gases* como el *oxígeno*, que en el agua natural se halla disuelto en una concentración de 7 a 8 mg/litro a temperatura ambiente, y el *anhídrido carbónico* de 1 a 25 mg/litro a temperatura ambiente, vuelven al agua agresiva, provocando corrosión en las paredes metálicas de la caldera.

Las *materias orgánicas* (grasas, azúcares, etc.) causan dificultades por provocar espumas, y/o películas en la superficie libre que dificulta el desprendimiento del vapor o provocando arrastres por el mismo.

Dureza

La dureza constituida por sales estables a la acción del calor (**Cl₂Ca**, **SO₄Ca**, **(NO₃)₂Ca**, **SO₄Mg**, **Cl₂Mg**, **(NO₃)₂Mg**, etc) forma la dureza permanente del agua, y la dureza debida a los

bicarbonatos de Ca y de Mg , es la llamada dureza temporaria. La suma de ambas durezas da el valor de la dureza total.

Existen varias escalas para medir la dureza. Se denomina *grado francés* a un agua que contenga 10mg/lt. de CO_3Ca o una cantidad equivalente de otras sales de Ca y de Mg. Se denomina *grado alemán* a un agua que contenga 10mg/lt. de OCa , o equivalente. Se denomina *grado inglés* a un agua que contenga 10mg de OCa en 700 g de agua.

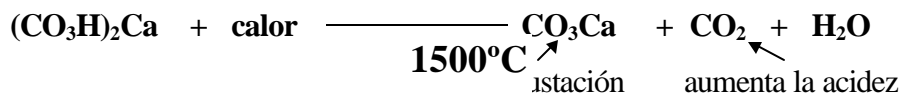
Clasificación del agua en función de la dureza

1) agua muy dulce	entre 0 y 7° franceses
2) agua dulce	entre 7 y 15° franceses
3) agua dura	entre 15 y 22° franceses
4) agua muy dura	entre 22 y 35° franceses
5) agua durísima	entre 35 y más ° franceses

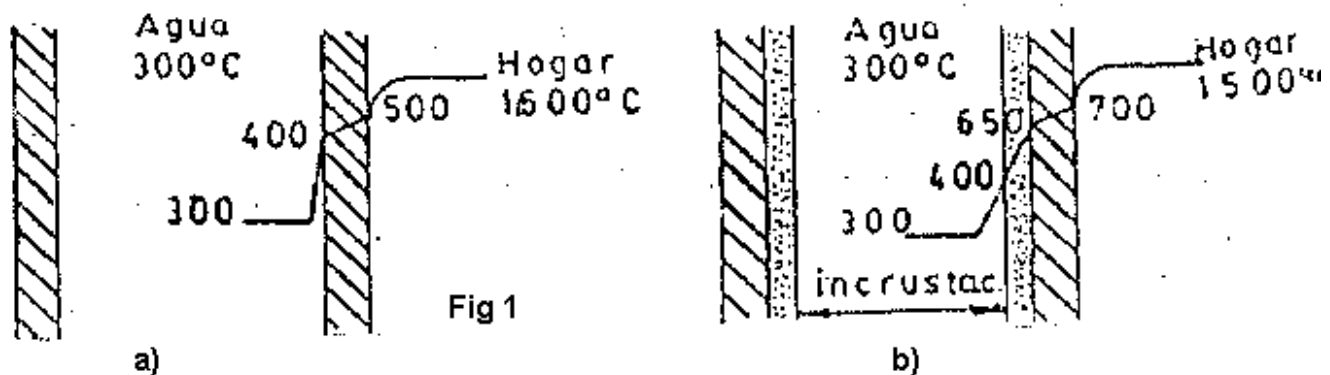
Incrustaciones y fangos

La formación de fangos e incrustaciones, es la consecuencia de la separación de la fase sólida de las soluciones sobresaturadas, tal como se verifica en ciertas zonas de la caldera.

Las sales de **Ca y Mg** que forman la dureza temporaria del agua (los bicarbonatos), al ser sometidas al calor se descomponen de la siguiente forma:



. La temperatura de la superficie de calentamiento es siempre más elevada que la de la masa de agua (ver fig. 1 a) . Es decir que la película de agua en contacto con la pared se halla a una temperatura mas elevada y se torna sobresaturada (cristalización espontánea). Una vez formados los cristales continúan creciendo , produciendo el revestimiento de la superficie de caldeo, formando depósitos adherentes.



Por otra parte cuanto mayor es la vaporización ($\text{kg/m}^2\cdot\text{h}$) más sensible será la caldera a las incrustaciones.

Cuando más grande es la caída de la solubilidad por la elevación de la temperatura, mayor es la tendencia a la incrustación; la incrustación es mas dura y más adherente. Por eso, las incrustaciones duras y adherentes (SO_4Ca y CO_3Ca) en las calderas, se forman preferentemente en las zonas donde la vaporización es activa: tubos en contacto con el fuego, tubos pantalla, pero sobre todo durante las marchas intensas. Los problemas que acarrea cuando tenemos incrustación son básicamente dos. Uno se produce la obstrucción del paso del agua esencialmente en los tubos. Segundo, las incrustaciones poseen una baja conductibilidad térmica, ofreciendo por lo tanto una gran resistencia a la transmisión del calor. Para una misma producción de vapor, la temperatura del metal contiguo a la incrustación es mas elevada que la del metal cuando está libre de ella. (fig. 1- b). Este metal puede ser sobrecalentado a muchos cientos de grados, ello puede provocar corrosión debajo de las incrustaciones, con la disminución de la resistencia mecánica, un martilleo espontáneo bajo carga (después de que la temperatura haya alcanzado los 200°C) desprenderá la incrustación produciendo una vaporización brutal en ese lugar, corriéndose el riesgo del estallido del tubo.

De lo expuesto se desprende la necesidad de trabajar en las calderas con agua blandas.

Corrosión

Es el problema más serio en las distintas partes metálicas de la caldera, causa que reduce la vida útil del equipo, reduciendo los espesores y como consecuencia la resistencia del material.

La corrosión dentro de la caldera se produce por varios motivos, pero todos simultáneamente. Podemos dividir en dos grupos los tipos de corrosión:

- a) corrosiones de la caldera en contacto permanente con el agua.
- b) corrosiones de la caldera en contacto con el vapor.

Dentro del grupo **a)** los podemos clasificar en :

- 1) por acción electroquímica.
- 2) consecuencias del PH del agua.
- 3) por el oxígeno libre del agua (O_2)
- 4) por el anhídrido carbónico (CO_2)
- 5) por la fragilidad cáustica.

Por la acción electroquímica:

Se producen por la formación de "pilas", debido a que el agua de la caldera, siempre presenta un cierto grado de disociación en iones oxidrilos OH^- y en iones hidrógeno H^+ , formando el electrolito de la "pila", y debido a las diferencias de potencial en la chapa, se establecen corrientes eléctricas entre las regiones anódicas y las catódicas. La corrosión se produce por el pasaje de los iones metálicos Fe^{++} al líquido.

La diferencia de potencial puede ser determinada por:

- a) El hierro se encuentra cerca de metales más nobles (cobre, metaloides, etc.) formándose un par bimetálico.

- b) El electrolito (el agua de la caldera), por motivos ocasionales cualesquiera, tiene concentraciones diferentes en dos zonas contiguas.
- c) Los gases disueltos en el agua no lo son uniformemente.
- d) El flujo térmico a través de las superficies calientes no es uniforme.

Consecuencia del PH del agua:

De acuerdo al valor del PH, el agua tiene parte de sus moléculas disociadas en hidrógeno (H^+) y oxidrilos (OH^-), que atacan al metal formando $\text{Fe}(\text{OH})$, quedando libre H^+ , adherido al metal. El oxígeno libre existente en el agua de la caldera se combina con el H^+ , dando agua, con lo cual se inicia el ataque. Esto se da para PH bajos (carácter ácido). Se podría decir que tenemos 3 zonas en función del valor del PH:

a) Zona alcalina: PH > 10 - 11

La corrosión es lenta, retardada por la pasividad del hierro, lo cual provoca una película de sales ferrosas adherentes al metal que se oponen al pasaje de nuevos iones Fe^{++} a la solución. Pero si el contenido de iones (OH^-) es muy elevado puede producirse la destrucción parcial o total de la película protectora.

a) Zona mediana: PH entre 4 y 11

Se tiene una corrosión moderada cuyo desarrollo depende principalmente del contenido de O_2 y de la velocidad de difusión.

a) Zona ácida : PH < 4

En ésta zona la corrosión es fuerte, tal como se descuenta, debido al ataque de los ácidos. El O_2 asume un rol secundario y la gravedad de la corrosión depende en mayor parte del estado de las superficies y de la naturaleza del metal, y también de la temperatura.

Teóricamente el ataque debería cesar con PH igual a 9. La experiencia eleva este valor entre 9,5 a 10, con estos valores de PH el ataque cesa prácticamente, lo cual no significa que cese totalmente. (ver figura)

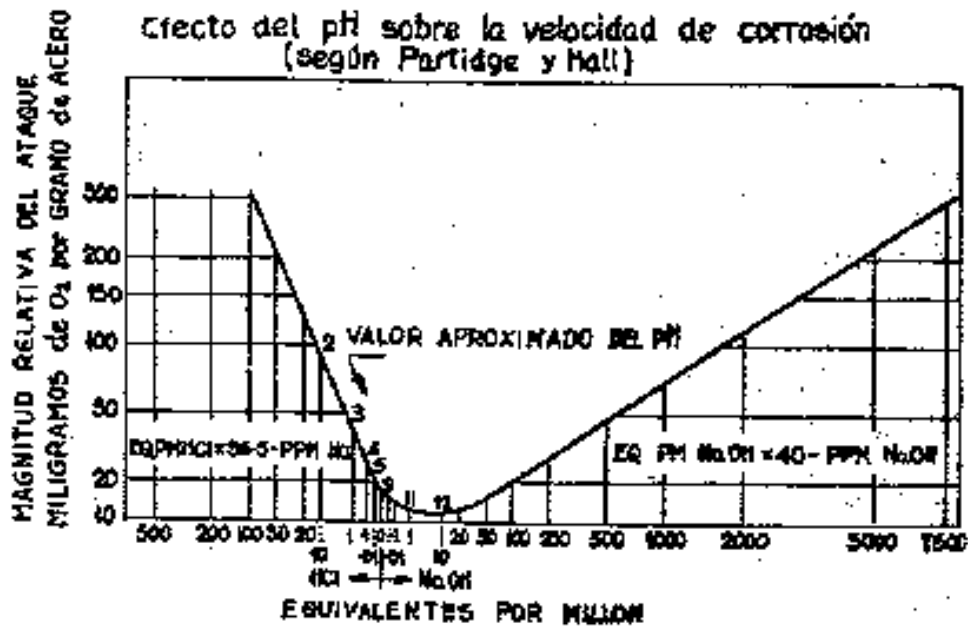


Fig 2

Por el oxígeno libre del agua (O_2):

La parte que tiene el O_2 en el proceso de corrosión puede sintetizarse así :

- a) Acción despolarizante en el proceso electroquímico primario con destrucción de la película atómica de hidrógeno y por consiguiente la activación del metal.
- b) Distribución no uniforme en varias zonas del generador (aunque vecinas) debido a la diferencia de temperaturas o hechos ocasionales, los cuales puedan provocar el fenómeno considerado como "aireación diferencial" constatado por Evans, con equilibrio de potencial y relativa erosión del material.

El oxígeno que se encuentra en el agua proviene del aire, como el N_2 en su mayor parte, y el agua destilada es muy ávida de éste elemento. El oxígeno no solo se incorpora al agua de alimentación con el agua de reposición, sino también a través de las pérdidas en el condensador , sellos de bombas, empaquetaduras de ejes de turbina, o cualquier lugar dónde la presión atmosférica es ejercida desde el exterior y un vacío parcial existe en el interior.

Otra de las fuentes de oxígeno son los productos químicos adicionados que provocan reacciones que liberan O_2 .

Generalmente el O_2 produce corrosiones fácilmente identificables, en forma de pequeñas picaduras (pits) (ver fig. 3). Esta forma de corrosión hace que sean mucho mas inmediatos los daños que una corrosión generalizada, ya que con poco volumen de metal atacado, pueden aparecer fallas al estar concentrados en estas picaduras.

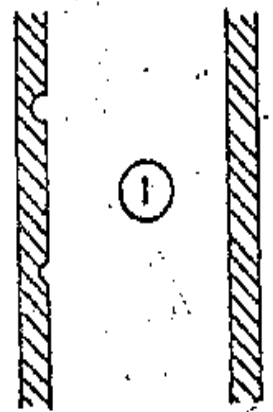
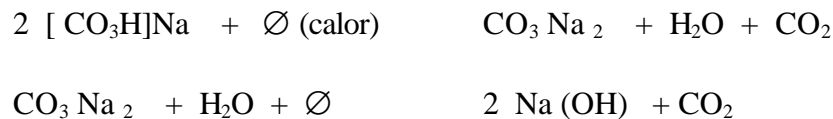


Fig 3

Por el anhídrido carbónico :

El CO_2 es otro gas no condensable que crea condiciones favorables para la corrosión. Formaciones subterráneas y materias orgánicas hacen que este gas pase a formar parte del agua. Sin embargo, la mayor parte del CO_2 en el ciclo proviene de los carbonatos y bicarbonatos alcalinos provenientes del tratamiento del agua de alimentación con ablandadores de ZeNa_2 (zeolitas) (ver tratamiento externo del agua). El CO_3Na_2 es una sal muy inestable en las condiciones de temperatura y presión reinantes en el interior de la caldera.



En la fase de vapor, en puntos de condensación y en el ciclo del condensador, las concentraciones del gas disuelto en el agua dan lugar a la reacción :



La humedad debe estar presente para que el gas ejerza su acción corrosiva. El ataque de este gas en cañerías de agua de alimentación y calderas es evidenciada por una rugosidad general en el metal, mientras que la acción corrosiva del medio sobre cañerías de vapor y condensado se manifiesta en forma de estrías a lo largo del fondo. El oxígeno presente en solución acuosa conteniendo CO_2 produce un ambiente de 2 a 10 veces más corrosivo que si ello ocurriera con igual concentración de CO_2 libre de O_2 .(ver fig. 4).

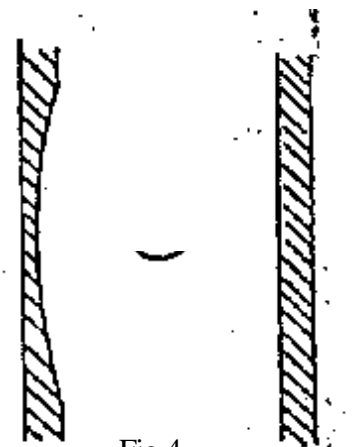


Fig 4

Por la fragilidad cáustica:

Se denomina así a ciertos tipos de grietas que se producen en las juntas roblonadas o agujeros que alojan los tubos, o donde quiera que el metal esté sujeto a sollicitaciones mecánicas muy altas. Por alguna pérdida de agua y su posterior evaporación se producen fuertes concentraciones de sales; la acción combinada de esfuerzos mecánicos y químicos, producen grietas en el metal. Estas grietas tienen la característica de ser intercristalinas, lo que las diferencia de las originadas por acción simple de esfuerzos mecánicos, que son del tipo transcristalinas.

Este fenómeno de fragilidad cáustica es estudiado, pero no se sabe la causa verdadera. Aparentemente, concentraciones muy altas de hidróxido de sodio (NaOH) , conjuntamente con esfuerzos mecánicos, son los que originan las grietas. Se cree que las concentraciones de NaOH deben llegar a 100.000 p.p.m. Una vez iniciada la grieta se profundiza por la acción de los esfuerzos mecánicos solamente.

Característica del agua de alimentación y de la caldera.

El grado de impurezas permitido en el agua de la caldera varía notablemente en función de la presión, de régimen de la transmisión del calor ($\text{kcal/m}^2\cdot\text{h}$), de la vaporización específica referida a la superficie entre el agua y el vapor (kg/m^2), de las características constructivas del generador y por último del máximo de impurezas permitido en el vapor producido. Los valores mas comunes están dados en la tabla N°1. Las características del agua de alimentación dadas en la tabla N°2 son datos recopilados de la estadística de calderas en servicio, y dependen del tratamiento en uso, solo deben ser usadas como guía.

Tabla N°1

Límite superior de las principales impurezas en el agua de la caldera

Presión de funcionamiento [kg/cm ²]	0-16	16-25	25-64	64-100	100-150
Sales totales [ppm.]	6000	3000	1500	1000 ⁽¹⁾	600 ⁽¹⁾
Sustancias orgánicas (ppm de K Mn O₄)	500	250	100	50	50
Alcalinidad a la fenoftaleina (ppm de Ca C O₃)	500 1500	500 1000	200 600	100 200	100 150
Sílice (ppm de Si O₂)	-	40	20	5	3
Cloruro de sodio (ppm de Cl Na)	3000	2000	1000	500	300
Sulfato de sodio (ppm de Na₂ S O₄)	6000	3000	1500	1000	600

(1) El valor indicado para altas presiones es el máximo admisible pero los valores de funcionamiento están muy por debajo.

Tabla N°2

Límite superior de las principales impurezas presentes en el agua de alimentación de caldera

Presión de funcionamiento [kg/cm ²]	0-16	16-25	25-64	64-100	100-150 ⁽³⁾
Sustancia orgánica (ppm de K Mn O₄)	100	25	10	5	5
Aceite (ppm)	3	3	1	1	1
Dureza total (ppm de Ca C O₃)	10-80 ⁽¹⁾	3	1	0.2	0.1
Sílice (ppm de Si O₂)	20	5	1	0.1	0.05
Anhídrido carbónico (ppm de CO₂)	20	10	5	2	1
Oxígeno (ppm)	-	0.1	0.05	0.01	0.01
Amoníaco (ppm)	20 25	20 25	10 2 ⁽²⁾	10 2 ⁽²⁾	10 2 ⁽²⁾

(1) El valor menor se refiere a calderas acuotubulares

(2) El valor menor se refiere cuando en el ciclo de condensación existen tubos de Cu

(3) Los valores son aptos para calderas de circulación forzada.

Tratamiento del agua para Generadores de Vapor

Ya vimos la impurezas que pueden venir con el agua y las dificultades que traen en los generadores de vapor, y vimos en qué proporciones se pueden aceptar dichas impurezas en el agua de alimentación y en el agua dentro del ciclo. De lo expuesto se deduce que si no se cumplen esas condiciones de concentraciones máximas, es necesario un tratamiento del agua, y por lo visto tendremos dos tipos de tratamientos :

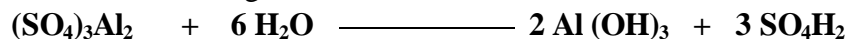
- Tratamiento externo del agua**, que se refiere al agua que va a ingresar al ciclo, y que hay que acondicionar para que cumpla con las condiciones dadas en la tabla N° 2.
- Tratamiento interno del agua**, se refiere a mantener al agua del ciclo dentro de ciertas condiciones (Tabla N°1).

Veremos someramente los tipos de tratamientos.

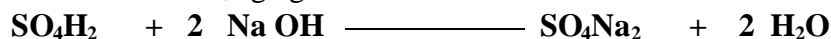
Tratamiento Externo

Clarificación:

Normalmente el agua se toma de ríos, lagos, etc, y necesita como primera medida una clarificación. Esto se hace pasando el agua por un filtro grueso, y pasarla luego a un proceso de coagulación, el que consiste, en el agregado de un coagulante y su posterior decantación y filtración. El coagulante actúa de la siguiente manera: las partículas en suspensión en el agua (barro, limo) son generalmente electronegativas, entonces se le agrega un elemento como el sulfato de aluminio $(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2$, *polielectrolito* o *Flocotan* (un derivado del tanino) que son electropositivos, y hacen que se agrupen muchas partículas electronegativas, formando el coagulo. El mas usado en la zona es el *sulfato de Aluminio*, el cual reacciona de la siguiente manera:



El ácido sulfúrico (SO_4H_2) producido en la reacción baja el PH del agua, por lo que debe elevarse, neutralizando el ácido, agregándole soda cáustica:



Esto trae aparejado que desde el primer tratamiento estoy incorporando sólidos en solución con el agua .

Ablandamiento:

Este tiene la finalidad de eliminar la dureza del agua. Veamos algunos de los tratamientos utilizados.

Cal y soda:

Con este procedimiento se busca precipitar el calcio **Ca** y el magnesio **Mg** en forma de fangos o lodos, por la reacción con la cal $(\text{Ca}(\text{OH})_2)$ y la soda (CO_3Na) . Estos reactivos se agregan en un tanque de precipitado, en cantidades medidas, luego se agita la mezcla y se deja reposar durante 4 horas aproximadamente para que precipite el **Ca** y el **Mg** . Si este proceso se realiza en caliente el tiempo de reposo de la mezcla es menor. Este sistema se utiliza poco porque exige un estricto control de las dosificaciones.

Fosfato:

Se utiliza el fosfato trisódico $(\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O})$ y puede ser empleado de tres maneras diferentes:

1. Ablandamiento con fosfato solamente.
2. ablandamiento final con fosfato como complemento de otro proceso.
3. ablandamiento con fosfato con retorno de purga continua.

El mas empleado es el tercero y se efectúa en tres fases:

- a) fase térmica.
- b) preablandamiento alcalino.
- c) ablandamiento con fosfato.

En el depurador térmico nos encontramos con que el agua bruta primero burbujea con el vapor de escape de turbobombas, o demás elementos auxiliares, produciendo un precalentamiento y desgasificación. Luego al mezclarse el agua bruta con el agua alcalina de la purga continua tiene lugar una reacción química con el hidróxido de sodio (**Na(OH)** soda cáustica) de la purga que reacciona con los bicarbonatos residuales formando soda (**Na₂CO₃**) y precipitando la dureza permanente. Se alcanzan durezas de 2 a 3 grados franceses en esta etapa del procedimiento. Posteriormente el fosfato precipita el resto como fosfatos insolubles.

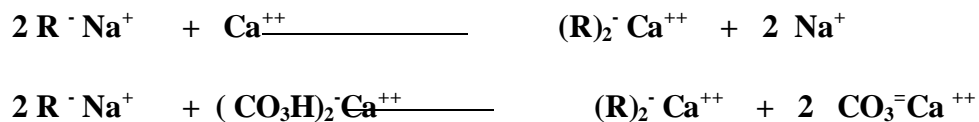
Intercambio ionico:

Deben tenerse en cuenta dos tipos de intercambiadores ionicos, los intercambiadores catiónicos y los intercambiadores aniónicos. Los aniónicos son todos de naturaleza orgánica (artificial o sintéticos); los catiónicos pueden ser inorgánicos (naturales, seminaturales, artificiales o sintéticos) u orgánicos (naturales, seminaturales, artificiales o sintéticos).

Los intercambiadores catiónicos inorgánicos son las Zeolitas (naturales y seminaturales). El parámetro que caracteriza a una resina en las aplicaciones industriales es la **capacidad de intercambio**, que mide cuantitativamente los iones intercambiados, expresados en gramos de **CO₃Ca** por litro de resina.

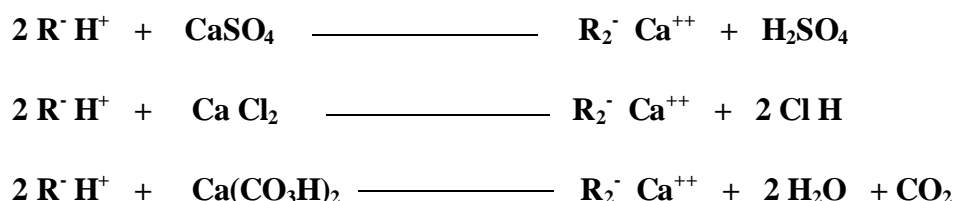
El mecanismo de funcionamiento es tal que haciendo atravesar el agua por un estrato de gránulos de Zeolita o de resina catiónica, ocurre lo que llamamos *intercambio de las bases*. El agua intercambia sus iones **Ca⁺⁺** y **Mg⁺⁺** de las sales disueltas en ella, con las bases de la resina (sodio); luego de esto el agua contiene sales de sodio y la resina sales de calcio y magnesio.

Una resina sódica actúa como sigue:

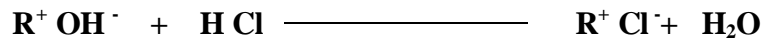
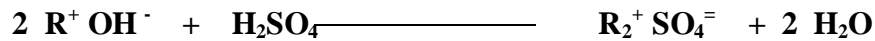


Las sales de sodio pertenecen, como ya vimos, al grupo 3 y no producen incrustaciones y pueden ser eliminadas por las purgas de la caldera o por destilación, ya sea física (en evaporadores) o química (Pasando por intercambiadores catiónicos y aniónicos).

Una resina catiónica ácida actúa ablandando de la siguiente manera:

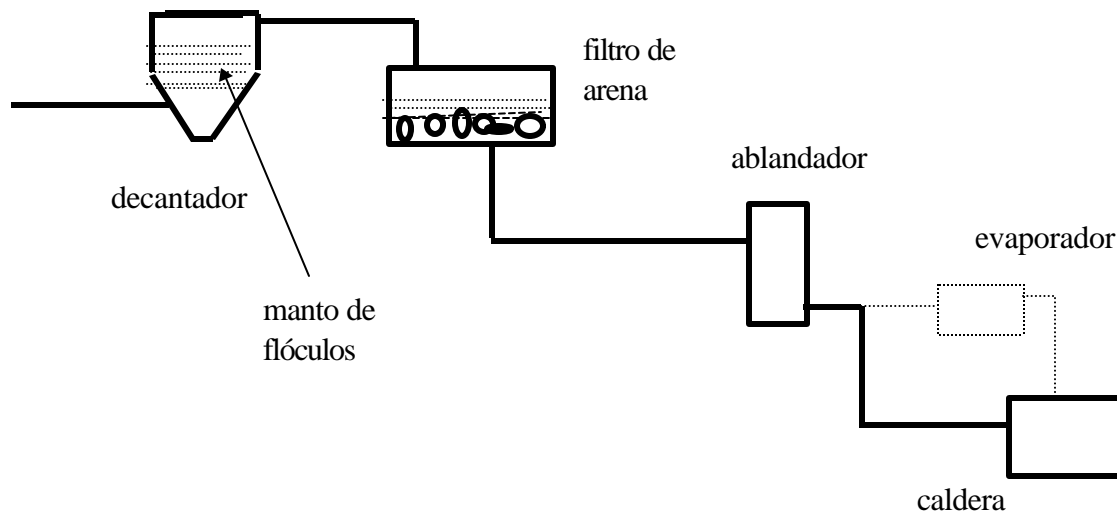


Y la resina aniónica actúa de la siguiente manera:



Como vemos, sale agua sin sales (agua desmineralizada).

Si se utiliza evaporadores como proceso posterior a un ablandamiento por zeolitas, aquí el agua que contiene sales no incrustantes es destilada y sacada del evaporador en forma de vapor de baja presión y luego condensada; y del fondo del evaporador se extrae por purga, agua con gran concentración de sales. Este agua destilada debe aún desgasificarse ya que contiene oxígeno, por lo cual suele enviarse el vapor de baja presión del evaporador al desgasificador, para que ahí se condense.

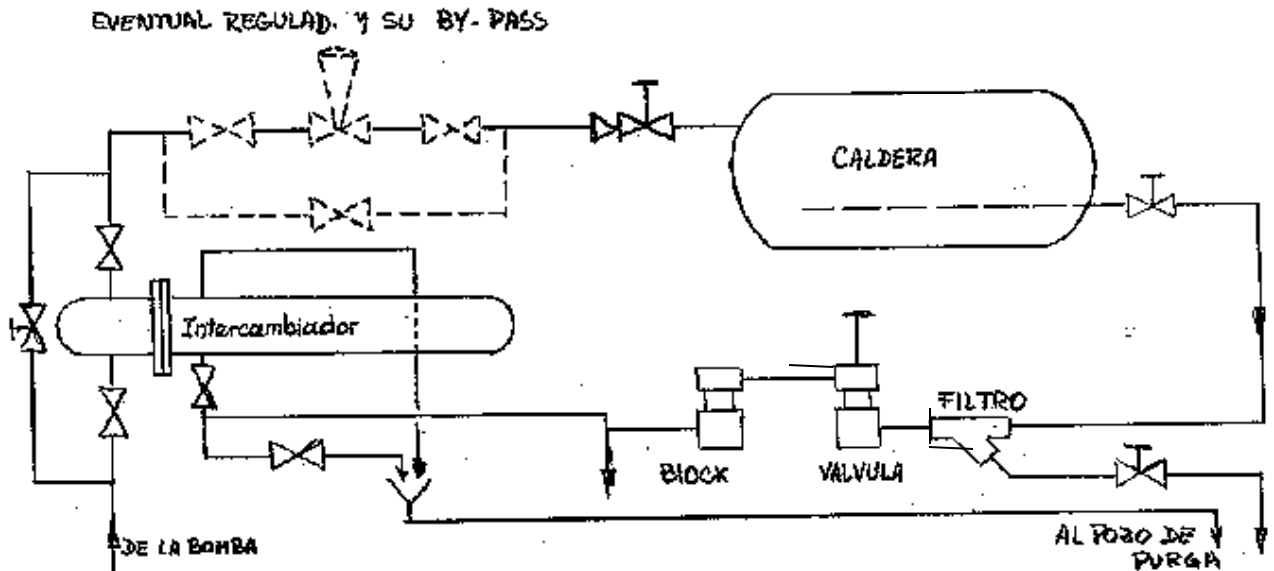


Tratamiento Interno

Como primera medida, para mantener el nivel de concentraciones de sales, es necesario realizar purgas, con la finalidad de eliminar las sales que se acumulan al cabo de un cierto tiempo por la evaporación del agua en la que vinieron disueltas.

Estas purgas se pueden realizar en forma continua o intermitente. En la purga continua se puede tener un control exacto de la cantidad de agua purgada. En la purga intermitente, se realiza la purga cuando la concentración de sales llega al máximo permitido, variando la concentración entonces cíclicamente entre un máximo y un mínimo.

La purga continua es de fácil graduación, y manteniendo la concentración constante y cerca de la máxima permitida (ver tabla 1), siendo entonces la purga mínima y por lo tanto las pérdidas de calor también. Además usando una purga continua al tener un caudal constante es posible usar un intercambiador para aprovechar gran parte del calor contenido en ellas.(ver fig.)



Otra forma de aprovechar parte del calor contenido en las purgas es, aprovechando que esta a la temperatura de saturación del líquido a la presión de caldera, es *expandirlo* reduciéndole la presión en un recipiente cerrado (expansor de purgas o tanque flash). Al reducirle la presión, como el líquido estaba saturado, para la nueva presión mas baja debe bajar su temperatura de líquido saturado, para lo cuál se evapora una cantidad suficiente (vapor de flash) para reducir esa temperatura. Si hacemos un balance térmico:

$$m_v \cdot r_v = m_{L2} \cdot C_p \cdot (t_{s1} - t_{s2})$$

dónde: m_v y m_{L2} masas del vapor y agua final

r_v calor latente de vaporización

t_{s1} y t_{s2} temperaturas de saturación del liq.

La purga continua puede regularse en forma automática. La cantidad de agua que se debe purgar surge de la relación entre la cantidad de sales disueltas en el agua de alimentación y la cantidad de sales admitidas en la caldera:

$$\% \text{purga} = \frac{\text{ppm} \cdot A \cdot A_{\text{caldera}}}{\text{ppm} \cdot \text{admisible}} \cdot 100$$

El porcentaje de purga a tomar es el mayor que cumpla con todas las condiciones. (o sea para cada una de las sales).

En cuanto en la purga discontinua la cantidad de agua purgada puede manejarse a voluntad, pero deben ser lo mas chicas posibles ya que el mismo volumen purgado se debe renovar para mantener el nivel de agua en la caldera. Al aumentar el volumen purgado, disminuyo la mínima concentración del generador de vapor y por lo tanto voy a aumentar el tiempo hasta la próxima purga. Las relaciones que hay entre estos valores es la siguiente:

$$V_{\text{cal}} \cdot C_{\text{max}} - V_{\text{pur}} \cdot C_{\text{max}} + V_{\text{pur}} \cdot C_{\text{AAC}} = V_{\text{cal}} \cdot C_{\text{min}}$$

$$G_{\text{AAC}} \cdot C_{\text{AAC}} \cdot T = V_{\text{pur}} \cdot C_{\text{max}} - V_{\text{pur}} \cdot C_{\text{AAC}}$$

dónde:

V_{cal} y V_{pur} : volumen de la caldera y volumen purgado.

C_{\max} , C_{\min} y C_{AAC} : concentraciones máximas, mínimas y del agua de alimentación de la caldera.

G_{AAC} : caudal de agua de alimentación.

T : tiempo transcurrido entre una purga y otra.

Como ya vimos cuando vimos *corrosión debido al PH* del agua, vimos que este debe mantenerse alrededor de 10, para lo cual, en caso de ser necesario se agregan productos químicos como ser *hidróxido de sodio* (**NaOH** o sea soda cáustica).

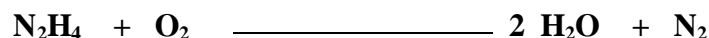
Para evitar la corrosión por el oxígeno libre, se agrega sulfito de sodio (**SO₃Na₂**). Este se combina con el oxígeno disuelto que pudiera haber en el agua, pasando a formar sulfato de sodio (**SO₄Na₂**). Para una buena protección se deja un excedente de sulfito de 20 a 50 p.p.m. en la caldera.

El sulfito es estable en las calderas de baja presión y alta presión, debiéndose tener cuidado en las de alta presión, porque se puede llegar a hidrolizar, liberando **SO₂** que torna al agua agresiva. Además si la temperatura es suficiente, el sulfito de sodio puede ser reducido a **SH₂** (ácido sulfhídrico) lo que se favorece a presiones altas. Este **SH₂** ataca al cobre y sus aleaciones (cobre, bronce). Además el sulfito aumenta la salinidad del agua, favoreciendo los depósitos temporarios.

Por estas razones se empezó a utilizar aminas (compuestos amoniacales : amoníaco **NH₃**), comenzándose por el amoníaco que da una buena proyección, elevando no sólo el PH del agua sino también del vapor, sin aumentar las concentraciones de sales de la caldera. El problema del amoníaco, es que al condensar las primeras gotas de condensado tienen un PH muy bajo, o sea existe una concentración selectiva, produciendo corrosiones en las zonas de vapor húmedo y serpentines donde se condensa el vapor. Además el amoníaco ataca al cobre y sus aleaciones.

Por eso se comenzó a utilizar luego otros compuestos amoniacales, tales como la morfolina (**C₂H₄OC₂H₄NH**) y la hidrazina (**N₂H₄**).

La hidrazina actúa eliminando el oxígeno en forma muy eficiente, además que le da una cierta alcalinidad, actuando de la siguiente manera:

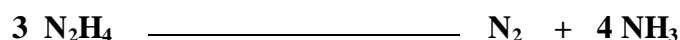


y el N_2 se elimina en el desaerador, siendo inactivo y no se produce un aumento de la salinidad de la caldera. También reacciona con los óxidos formados:



siendo la magnetita (**Fe₃O₄**) un óxido estable que forma una película protectora de color oscuro sobre las paredes de hierro.

El exceso de hidrazina puede provocar su descomposición en amoníaco:



esto ocurre sobre todo por encima de los 300°C. El NH_3 es arrastrado por el vapor y trae los inconvenientes ya enunciados, por lo que se debe evitar el exceso de hidrazina.

El uso de la morfolina brinda protección en toda la fase agua pero sobre todo en la de vapor y en la formación de humedad en la turbina, por variar muy poco el PH en todo el ciclo agua-vapor con muy

bajo factor de distribución en la condensación. Con una cantidad adicional de morfina se neutraliza el CO_2 libre.

Característica de aguas de la zona

Veremos como ejemplo un análisis típico del agua del río Paraná, y la compararemos con un agua de pozo (advertencia: la característica del agua de pozo varía considerablemente según la napa).

Agua del Río Paraná

Residuo total = 207.3 ppm
 sales solubles = 115 ppm
 PH = 7.5
 Temperatura = 25°C
 Oxígeno disuelto = 9 mg/l.
 Alcalinidad a la fenofaleína = 0
 Alcalinidad a la helantina = 30 ppm
 Cloruro = 33 ppm Cl^-
 Sílice = 13 ppm SiO_2
 Dureza = 32.9 ppm CO_3Ca
 Sulfato = 23 ppm SO_4^{--}
 Oxidabilidad al permanganato = 7.5 mg O_2 /lt

Agua de Pozo

En las de pozo varía notablemente, las sales solubles tienen concentraciones superiores a la del río.

El PH es generalmente algo menor, rondando 6 a 7.
 La dureza es generalmente superior a 100 pp, de CO_3Ca .
 El oxígeno disuelto es cero, o muy cercano a cero.
 La oxidabilidad al permanganato es del orden de 1,5 mg/l
 Generalmente contiene hierro, y éste suele estar en concentraciones del orden de 0.5 a 5 ppm.