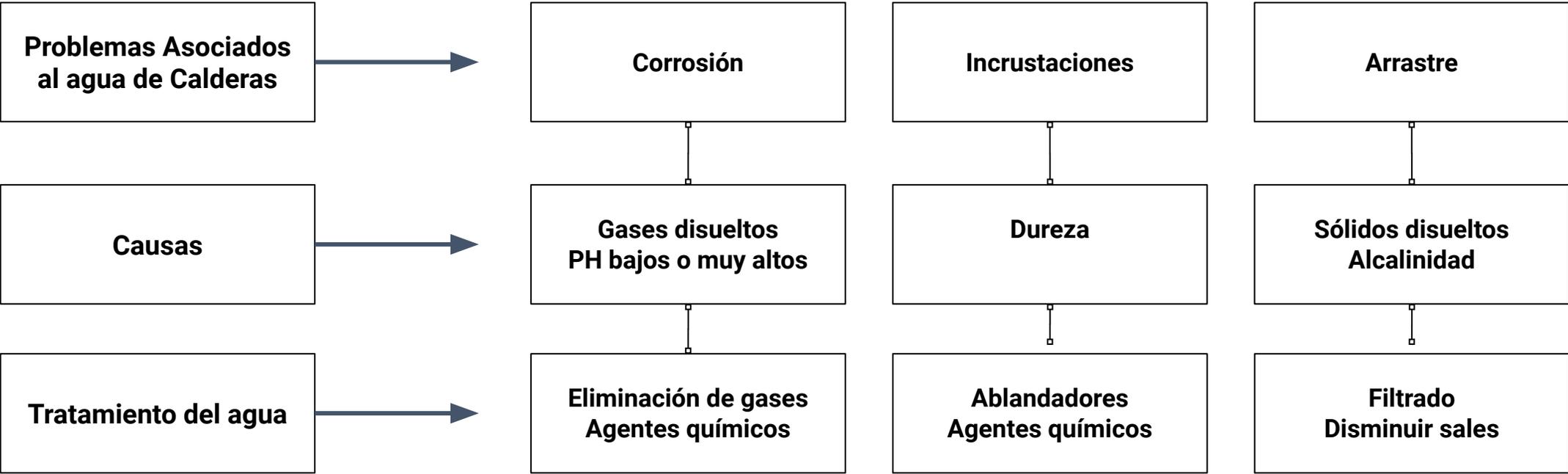


Calidad y tratamiento de agua



Contenido



Problemas asociados al agua de calderas

Corrosión: es una reacción interfacial irreversible de un material con el ambiente, que resulta en el consumo del material o la disolución de este en el ambiente.



Incrustaciones: Precipitación de sales en la parte interna de la caldera cuando su concentración excede los límites de solubilidad.



Arrastre: Cualquier contaminante del vapor que abandona el domo junto con este.



Corrosión

Corrosión: es una reacción interfacial irreversible de un material con el ambiente, que resulta en el consumo del material o la disolución de este en el ambiente.

Clasificación por morfología de ataque:

- **Corrosión generalizada (uniforme):** Se produce de forma homogénea sobre toda la superficie del metal, generando una reducción del espesor uniforme
- **Corrosión localizada:** Se presenta en puntos concretos del material y puede perforar el metal en tiempos relativamente cortos. Puede provocar accidentes

Las causas de corrosión en calderas son, mayoritariamente:

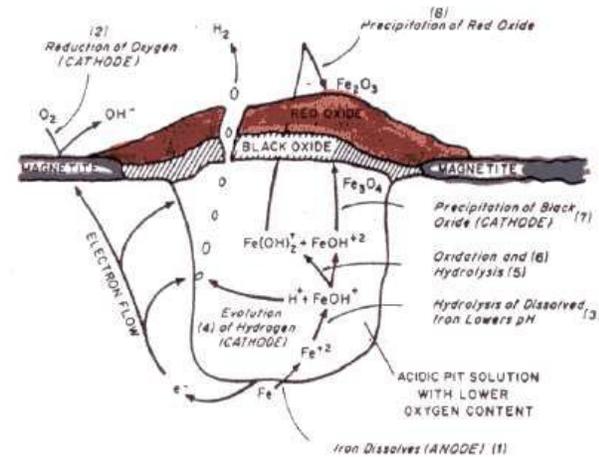
- presencia de O₂ disuelto (pitting)
- pH bajos
- pH muy altos



Corrosión

Corrosión por oxígeno o pitting

- Reacción del oxígeno disuelto en el agua con el metal de la caldera, provocando su disolución.
- Resulta en tubérculos formados sobre la zona de corrosión.
- Especialmente en calderas fuera de operación.



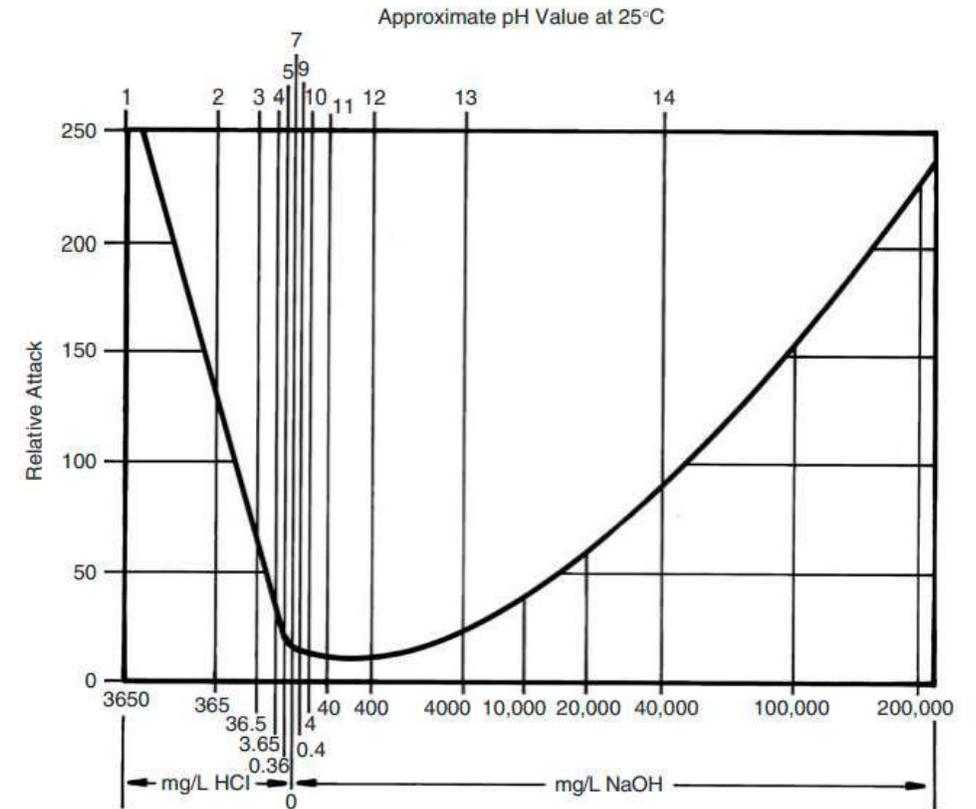
ver: [Clase del curso IGV](#)



Corrosión

Corrosión por pH

- El acero al carbono se utiliza en la construcción de sistemas de generación de vapor.
- A alta temperatura en condiciones alcalinas reductoras se forma una delgada capa protectora de magnetita (Fe_3O_4) en la superficie que protege el metal del ambiente acuoso corrosivo (pasivado).
- La estabilidad de la capa de magnetita formada en la caldera depende del pH del agua. Puede mantener la estabilidad y protección máxima a pH entre 9-12. El rango óptimo depende de la presión de operación.



Tasa de corrosión del acero en función del pH del agua (Fuente: The Nalco Water Handbook, NALCO)



Corrosión

Corrosión por bajo pH

- Este tipo de corrosión no es probable en calderas en operación, aparece en sistemas de operación intermitente o en tanques de alimentación.



Corrosión ácida durante limpieza química



Corrosión ácida durante servicio

Corrosión por muy alto pH

- Los depósitos porosos en la superficie del tubo permiten que el agua de la caldera que contiene OH^- pase a través de la interface tubo/depósito
- El flujo de calor vaporiza el agua y concentra el OH^- , el vapor escapa del depósito y más agua de la caldera ingresa
- La solución concentrada en OH^- disuelve rápidamente el film de magnetita
- El acero expuesto reacciona con el agua en el intento de formar de nuevo la magnetita
- Mientras exista un exceso localizado de OH^- , el ciclo de disolución y nueva formación de magnetita continúa, junto con la pérdida de metal del tubo en el área



Incrustaciones

Precipitación de sales en la parte interna de la caldera cuando su concentración excede los límites de solubilidad o cuando la ebullición localmente se aparta de la ebullición nucleada.

Pueden ser:

- Cristalinas: Precipitación lenta, directamente sobre la pared del tubo. Muy duras y difíciles de extraer!
- Amorfas: Precipitados previamente formados, en forma de barros, que se van acumulando en la pared del tubo. No son tan adherentes, pueden ser removidos por purga de fondo.

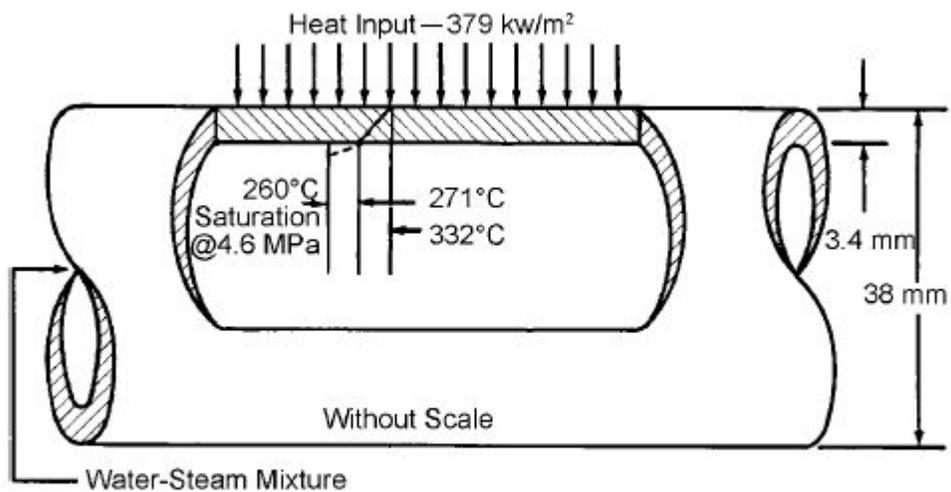
Efectos de la presencia de incrustaciones

- Reducción de la eficiencia (mayor consumo combustible, incremento emisiones de GEI)
- Riesgo de fallas en tubos por sobrecalentamiento del metal
- Deterioro de la integridad del sistema de generación de vapor, reducción de la vida útil de equipos, incremento de riesgos operativos, paradas no programadas
- Disminución de la sección de flujo(disminuye el flujo)

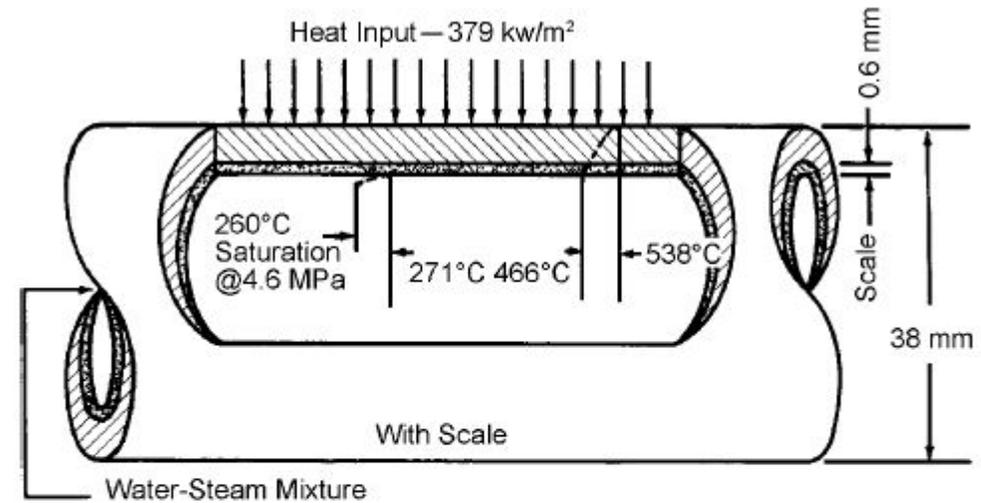


Incrustaciones

Efectos de la presencia de incrustaciones



Temp Drop across Water Film = 11°C
Temp Drop across Tube Wall = 61°C



Temp Drop across Water Film = 11°C
Temp Drop across Internal Scale = 195°C
Temp Drop across Tube Wall = 72°C

Assumed CaSO₄ Scale 0.61 mm
Thermal Conductivity 1.44 W/[m•K]

Maximum Tube Temp (538°C) is above Allowable
Oxidation Temp Limit for SA-210 Carbon Steel

(Fuente: The Nalco Water Handbook, NALCO)



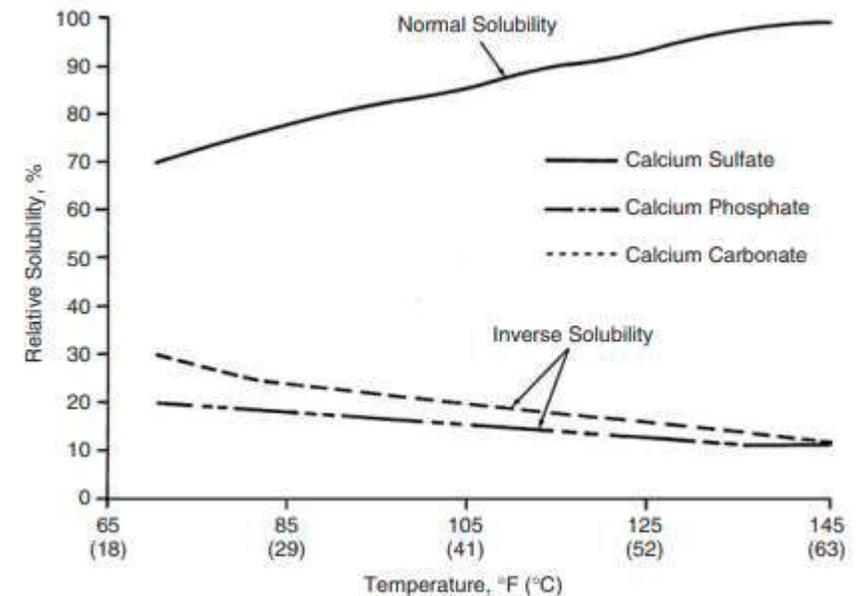
Incrustaciones

Causas de incrustaciones

Calcio y magnesio reaccionan con los carbonatos presentes generando incrustaciones cristalinas.

Dureza:

- Suma de cationes Calcio (Ca^{+2}) y Magnesio (Mg^{+2}) en el agua
- En este caso la solubilidad de las sales decrece con el aumento de temperatura.
- El agua de alimentación eleva su temperatura en la caldera y se concentra, formando incrustaciones cuando se excede la solubilidad de las sales.
- La precipitación ocurre generalmente en sistemas de alimentación y en calderas de baja presión sin pretratamiento del agua o tratada en ablandadores mal mantenidos.



Efecto de la T en la solubilidad de compuestos
(Fuente: The Nalco Water Handbook, NALCO)



Arrastre

Cualquier contaminante del vapor que abandona el domo junto con este

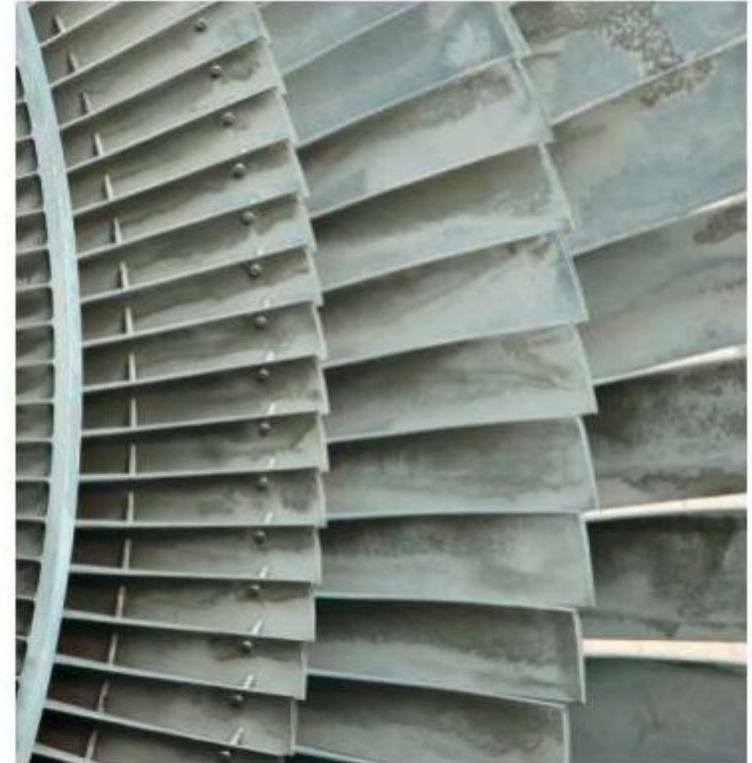
Puede ser sólido, líquido o gas

Inconvenientes:

- Arrastre de líquido implica peor calidad y puede ocasionar erosión.
- Falsear medidas de nivel, se podría tener menos nivel del medido y ocasionar fallas de tubos.

Causas de arrastre:

- Elevada alcalinidad
- Elevados TDS (sólidos disueltos totales)
- Incremento rápido de la demanda
- Operación superior a la capacidad de diseño
- Contaminación del agua por orgánicos



Ejemplo: Deposición de sílice en turbinas.

Tratamiento de agua

Tratamiento externo (pretratamiento)

Tratamiento interno.

Objetivos:

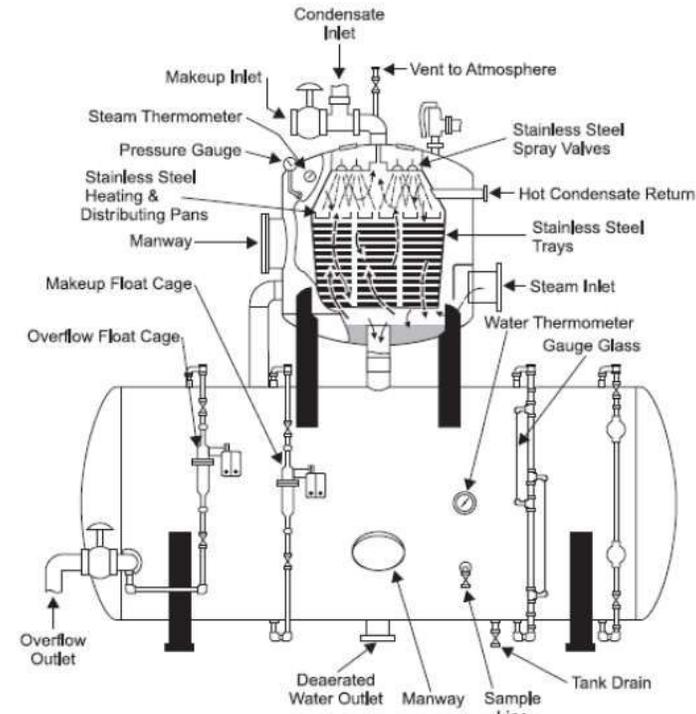
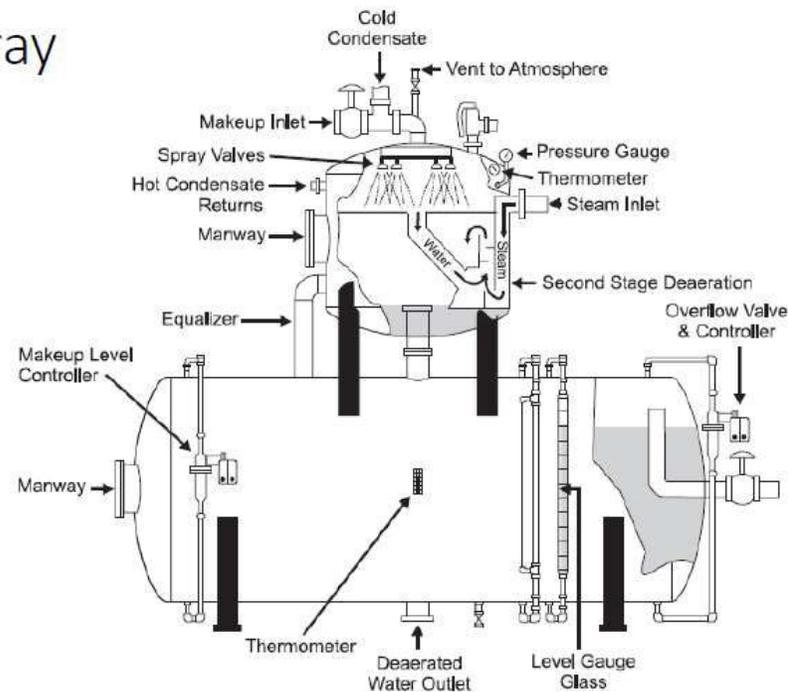
- Eliminación de gases disueltos (evitar corrosión)
- Eliminación de sólidos disueltos (dureza) y en suspensión (evitar incrustaciones y arrastre)



Eliminación de gases disueltos

Por medios mecánicos (Pretratamiento): Desaireadores (desgasificadores)
Agua en contracorriente en contacto con vapor, distintas formas:

Tipo spray



De bandejas

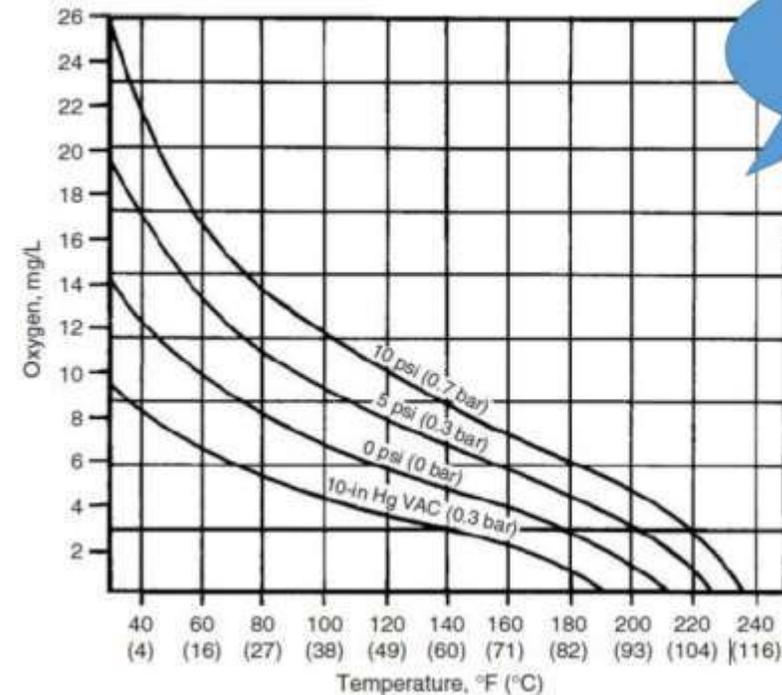


Eliminación de gases disueltos

Por aumento de temperatura (Pretratamiento)

En algunos casos el tanque de alimentación se mantiene a temperatura cercana a la de saturación.

Debe tenerse cuidado con dicha temperatura para evitar cavitación de la bomba.



Solubilidad de oxígeno//influencia de presión y temperatura



Eliminación de sólidos suspendidos

Clarificación (Pretratamiento): se aplica al agua de reposición previo al tanque de alimentación.

Proceso cuyo objetivo es la remoción de sólidos suspendidos.

Los sólidos suspendidos pueden consistir en partículas sedimentables, de gran tamaño, que se separan solamente por acción de la gravedad y partículas no sedimentables.

Remoción normalmente se lleva a cabo por **Clarificación**, que consiste en:

- **Coagulación:** Desestabilización por neutralización de cargas superficiales en la partícula. Agitación intensa para que el coagulante se mezcle con el agua. Una vez neutralizadas las cargas, las partículas dejan de repelerse y se acercan.
- **Floculación:** Unión de partículas desestabilizadas para formar un “floc”. Agitación lenta para que las partículas se unan y logren mayor tamaño y peso.
- **Sedimentación:** Proceso físico de remoción del material coagulado y floculado. Al reducirse la velocidad de circulación del agua, las partículas descienden por su propio peso.



Eliminación de sólidos suspendidos

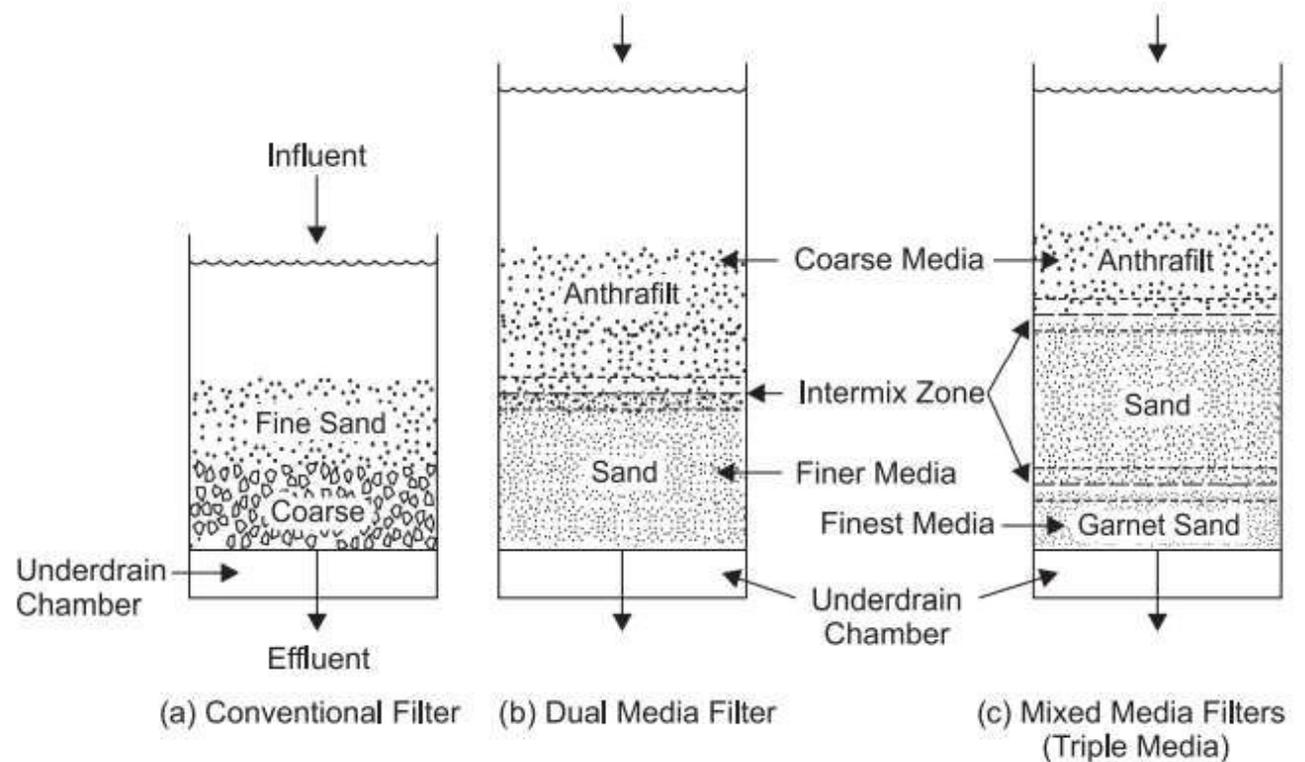
Filtrado (Pretratamiento)

Para agua de reposición, puede ser complementario a la clarificación.

Proceso de remoción de sólidos suspendidos por el pasaje del agua a través de un medio filtrante.

Los filtros pueden ser de un solo medio o multimedia

Los sólidos suspendidos filtrados se remueven del filtro al sacarlo de servicio y retrolavar el medio.



Disminución de dureza (sólidos disueltos)

Ablandamiento (Pretratamiento)

se aplica al agua de reposición previo al tanque de alimentación.

Intercambio de cationes capaces de formar incrustaciones (Ca^{+2} y Mg^{+2}) por sodio completamente soluble:

- Proceso más habitualmente utilizado en tratamiento de agua superficial y de pozo
- Utiliza una resina catiónica fuertemente ácida (Na^+)

Genera otros sólidos disueltos! (sodios)



NALCO Analytical Laboratory Report
Ion Exchange – Water Analysis

Constituent*	Raw	SAC (Na ⁺)
Calcium	194.0	-
Magnesium	70.2	-
Sodium	14.4	278.6
Potassium	1.5	1.5
FMA	-	-
Total Cations	280.1	280.1
Bicarbonate	220.0	220.0
Chloride	5.2	5.2
Sulfate	54.0	54.0
Nitrate	0.9	0.9
TMA	60.1	60.1
Total Anions	280.1	280.1
P Alkalinity	-	-
M Alkalinity	220	220
Carbon Dioxide, CO ₂	11	11
Silica reactive, SiO ₂	0.7	0.7
TDS, mg/L	428	454
Conductivity, μS/cm	564	555
pH, units	7.6	7.6

* All mg/L as CaCO₃ unless otherwise noted

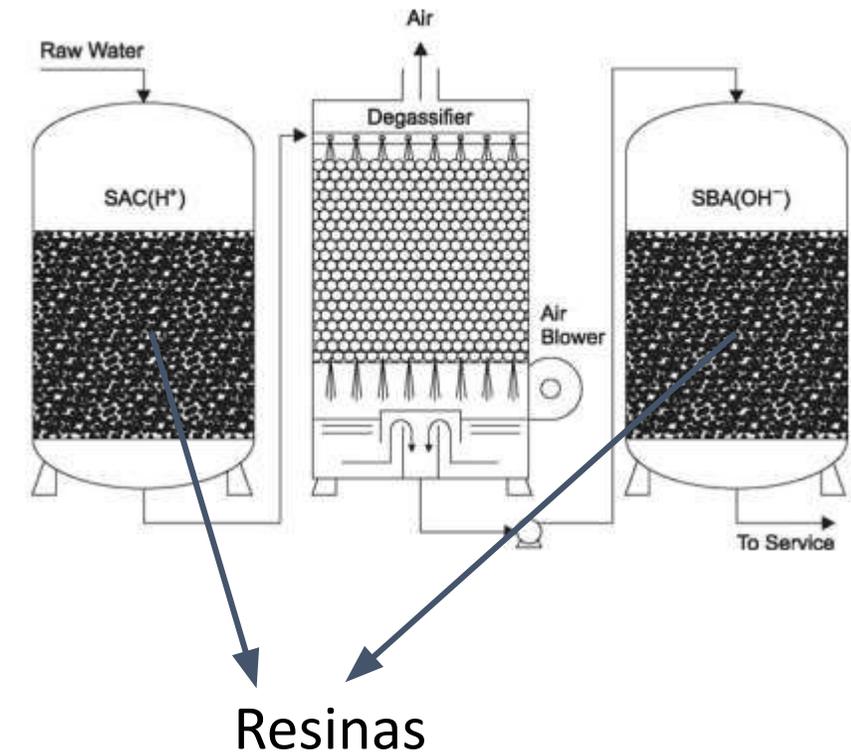


Disminución de sólidos disueltos

Desmineralización por intercambio iónico (Pretratamiento)

Proceso de remoción de sólidos disueltos por intercambio iónico para producción de agua desmineralizada. Se aplica en calderas de alta presión donde los requerimientos son más exigentes.

- El agua pasa a través de la resina, se produce un intercambio de iones, eliminando iones indeseables del agua y reemplazándolos con iones cargados previamente en la resina en la etapa de regeneración
- El regenerante utilizado y el tipo de resina cargada en el tratador determinan los iones que serán intercambiados entre la resina y el agua
- El proceso es reversible; el lecho de resina debe ser regenerado una vez agotado: se deben tener dos unidades.



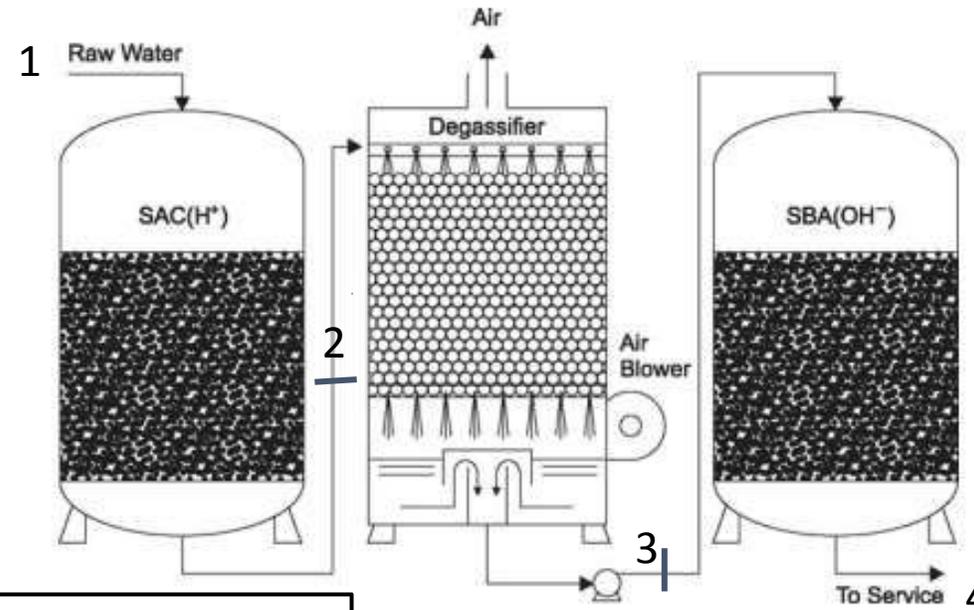
Disminución de sólidos disueltos

Desmineralización por intercambio iónico (pretratamiento)

NALCO Analytical Laboratory Report

Constituent*	1	2	3	4	analysis
	Raw	SAC (H ⁺)	Decarb	SBA (OH ⁻)	
Calcium	194.0	-	-	-	
Magnesium	70.2	-	-	-	
Sodium	14.4	2.0	2.0	2.0	
Potassium	1.5	-	-	-	
FMA	-	58.1	58.1	-	
Total Cations	280.1	60.1	60.1	2.0	
Bicarbonate	220.0	-	-	-	
Hydroxide	-	-	-	2.0	
Chloride	5.2	5.2	5.2	-	
Sulfate	54.0	54.0	54.0	-	
Nitrate	0.9	0.9	0.9	-	
TMA	60.1	60.1	60.1	-	
Total Anions	280.1	60.1	65.1	2.0	
P Alkalinity	-	-	-	2	
M Alkalinity	220	-	-	2	
Carbon Dioxide, CO ₂	11	204	10	0.2	
Silica reactive, SiO ₂	0.7	0.7	0.7	-	
TDS, mg/L	428	58	58	3	
Conductivity, µS/cm	564	NA	NA	9	
pH, units	7.6	3.0	3.0	9.4	

* All mg/L as CaCO₃ unless otherwise noted



1-2 Unidad de desmineralización convencional compuesta por resina catiónica fuertemente ácida (SAC H⁺) para remoción de todos los cationes. Sube pH

2-3: Torre descarbonatadora entre ambas resinas para reducción del CO₂. Circula aire en contracorriente al agua.

3-4: seguida de una resina aniónica fuertemente básica (SBA OH⁻) para remoción de todos los aniones vuelve a bajar pH

Tratamiento interno

Se realiza dentro del equipo, **complementario al tratamiento externo**

El tratamiento externo no es 100% efectivo, básicamente por limitaciones de los equipos y razones económicas

Involucra:

Tratamiento mecánico

- Purgas de fondo
- Purga continua

Tratamiento químico

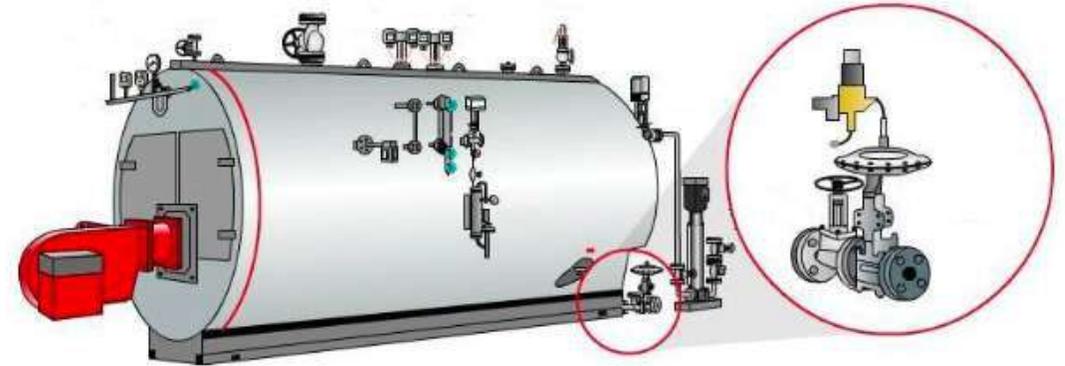
- Dosificación de productos químicos



Tratamiento interno

Purgas de fondo

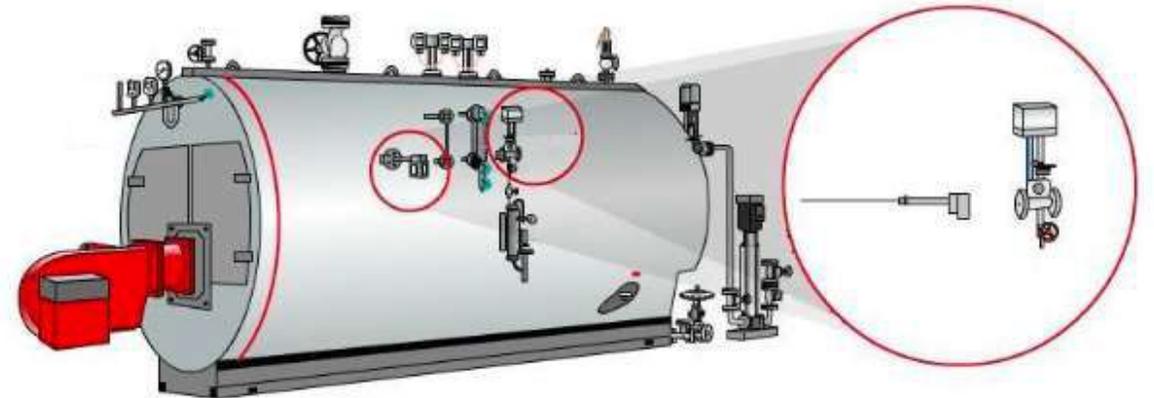
- Apertura de una válvula de fondo durante algunos segundos
- Objetivo: Remoción de barros acumulados en el fondo de la caldera



En calderas grandes también se tiene:

Purgas de nivel

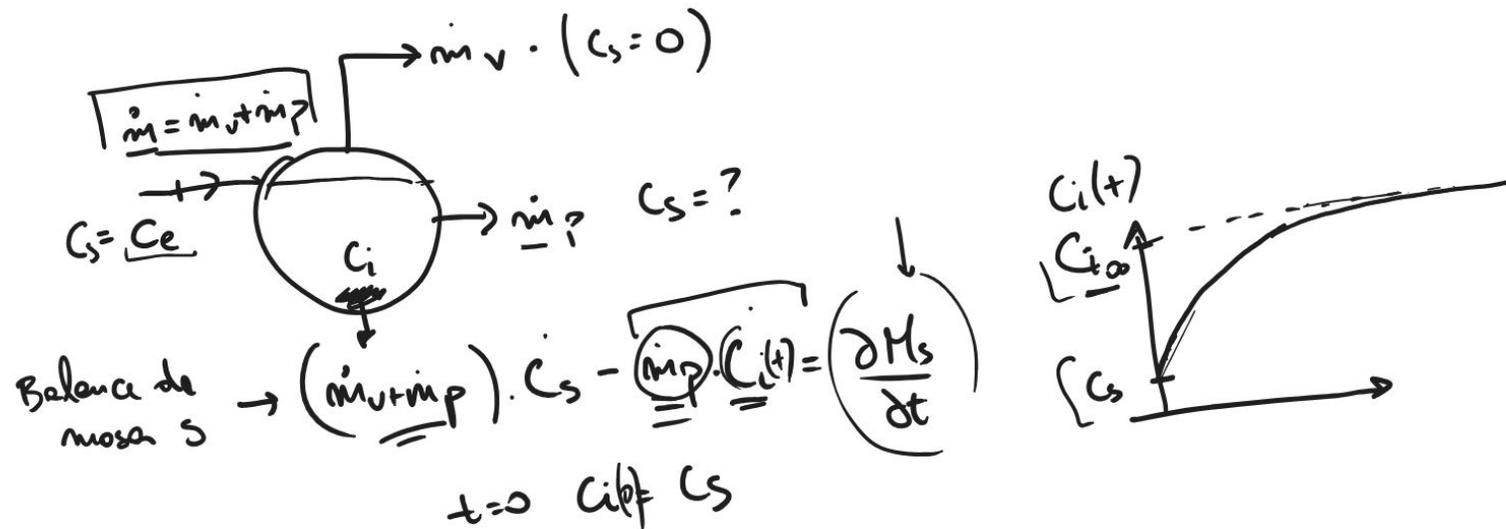
- Remoción continua del agua del domo
- Objetivo: Control de la concentración de sales disueltas
- Se puede aprovechar parte de su energía (tanque flash)



Tratamiento interno

Purgas de nivel

- Remoción continua del agua del domo
- Objetivo: Control de la concentración de sales disueltas



Tratamiento interno

Tratamiento químico

Dosificación de productos químicos:

- Adherir fosfatos que son capaces de capturar los iones de magnesio y calcio (incrustaciones)
- NaHO para corregir el PH del agua (corrosión por PH)
- NaSO₃, N₂H₄ para absorber oxígeno (corrosión por gases disueltos)

