

Tratamiento de Agua para Calderas

En el presente artículo se analiza la importancia que el tratamiento de agua tiene en la vida útil, eficiencia y seguridad en la operación de las calderas industriales; se entregan además recomendaciones para la definición de programas de tratamiento de agua y se explica como detectar los problemas más frecuentes.

1. Introducción

El tratamiento del agua de una caldera de vapor o agua caliente es fundamental para asegurar una larga vida útil libre de problemas operacionales, reparaciones de importancia y accidentes.

El objetivo principal del tratamiento de agua es evitar problemas de corrosión e incrustaciones, asegurando la calidad del agua de alimentación y del agua contenida en la caldera.

El aseguramiento de la calidad del agua de alimentación y agua de la caldera se consigue cumpliendo con los requerimientos de las normas, que definen los límites recomendados para los parámetros involucrados en el tratamiento del agua.

2. Fuentes de Agua

Las fuentes de agua corresponden a toda aquella agua (ríos, lagos, océanos, etc.), que no ha recibido ningún tipo de tratamiento y por lo tanto contienen impurezas, adquiridas durante el ciclo al que han sido sometidas, que impiden su utilización directa en una caldera.

El ciclo del agua, mostrado en la figura n°1, indica que la humedad atmosférica resulta de la evaporación de las fuentes de agua, la que luego al condensarse precipita en forma de lluvia, granizo o nieve, absorbiendo gases y otras sustancias descargadas por el hombre a la atmósfera. Esta situación es la causa de que la lluvia contenga una gran cantidad de impurezas al momento de entrar en contacto con la tierra.

A medida que el agua fluye por sobre la superficie de la tierra o se filtra a través de las capas de ésta, continua atrapando o disolviendo impurezas del suelo o minerales por los que atraviesa. Así es como agua aparentemente cristalina, proveniente de lagos, ríos y vertientes, puede tener un elevado contenido de sólidos disueltos.

Las impurezas encontradas con mayor frecuencia en las fuentes de agua, figuran las siguientes los sólidos en suspensión, líquidos no mezclables con agua (ej. aceite), colorantes, bacterias y otros microorganismos, sustancias semi-coloidales, gases disueltos, sales minerales disueltas (cationes, aniones y sílice).

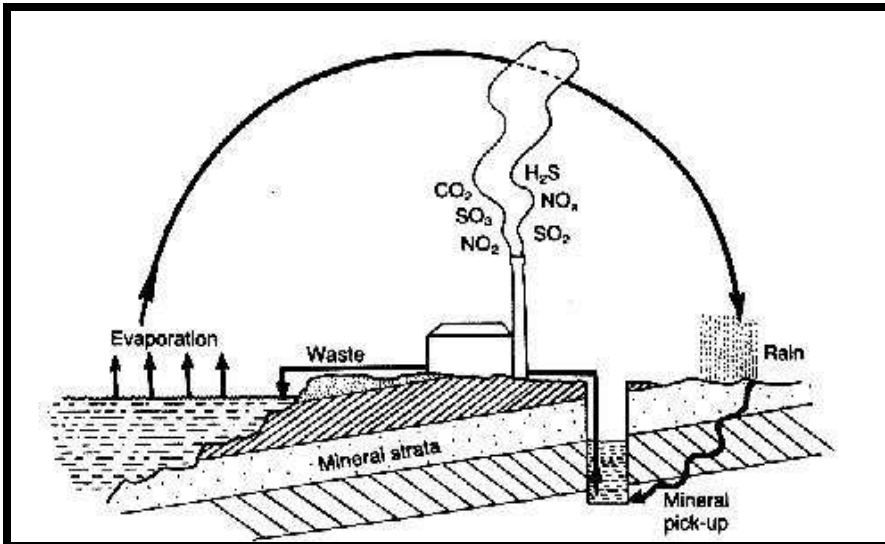


Figura n°1: Ciclo del agua.

3. Parámetros Tratamiento de Agua

Los principales parámetros involucrados en el tratamiento del agua de una caldera, son los siguientes:

- **pH.** El pH representa las características ácidas o alcalinas del agua, por lo que su control es esencial para prevenir problemas de corrosión (bajo pH) y depósitos (alto pH).
- **Dureza.** La dureza del agua cuantifica principalmente la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en el agua, los que favorecen la formación de depósitos e incrustaciones difíciles de remover sobre las superficies de transferencia de calor de una caldera.
- **Oxígeno.** El oxígeno presente en el agua favorece la corrosión de los componentes metálicos de una caldera. La presión y temperatura aumentan la velocidad con que se produce la corrosión.
- **Hierro y cobre.** El hierro y el cobre forman depósitos que deterioran la transferencia de calor. Se pueden utilizar filtros para remover estas sustancias.
- **Dióxido de carbono.** El dióxido de carbono, al igual que el oxígeno, favorecen la corrosión. Este tipo de corrosión se manifiesta en forma de ranuras y no de tubérculos como los resultantes de la corrosión por oxígeno.

La corrosión en las líneas de retorno de condensado generalmente es causada por el dióxido de carbono. El CO₂ se disuelve en agua (condensado), produciendo ácido carbónico. La corrosión causada por el ácido carbónico ocurrirá bajo el nivel del agua y puede ser identificada por las ranuras o canales que se forman en el metal.

- ❑ **Aceite.** El aceite favorece la formación de espuma y como consecuencia el arrastre al vapor.
- ❑ **Fosfato.** El fosfato se utiliza para controlar el pH y dar protección contra la dureza.
- ❑ **Sólidos disueltos.** Los sólidos disueltos la cantidad de sólidos (impurezas) disueltas en el agua.
- ❑ **Sólidos en suspensión.** Los sólidos en suspensión representan la cantidad de sólidos (impurezas) presentes en suspensión (no disueltas) en el agua.
- ❑ **Secuestrantes de oxígeno.** Los secuestrantes de oxígeno corresponden a productos químicos (sulfitos, hidrazina, hidroquinona, etc.) utilizados para remover el oxígeno residual del agua.
- ❑ **Sílice.** La sílice presente en el agua de alimentación puede formar incrustaciones duras (silicatos) o de muy baja conductividad térmica (silicatos de calcio y magnesio).
- ❑ **Alcalinidad.** Representa la cantidad de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y silicatos o fosfatos en el agua. La alcalinidad del agua de alimentación es importante, ya que, representa una fuente potencial de depósitos.
- ❑ **Conductividad.** La conductividad del agua permite controlar la cantidad de sales (iones) disueltas en el agua.

4. Requerimientos Agua Alimentación y Caldera

Sobre la base de las recomendaciones de la Norma Británica BS – 2486, la ABMA (American Boiler Manufacturing Association) y el TÜV, se han preparado las siguientes tablas que muestran los requerimientos que deberá satisfacer el agua de alimentación y el agua de una caldera para prevenir incrustaciones y corrosión en calderas de baja presión (hasta 10 bar).

PARÁMETRO	VALOR REQUERIDO
Dureza total	< 2 ppm
Contenido de oxígeno	< 8 ppb

Dióxido de carbono	< 25 mg/l
Contenido total de hierro	< 0,05 mg/l
Contenido total de cobre	< 0,01 mg/l
Alcalinidad total	< 25 ppm
Contenido de aceite	< 1 mg/l
pH a 25 °C	8.5 – 9.5
Condición general	Incoloro, claro y libre de agentes insolubles.

Tabla n°1: Requerimientos agua alimentación caldera s vapor según BS 2486.

PARÁMETRO	VALOR RECOMEDADO
pH a 25 °C	10.5 - 11,8
Alcalinidad Total CaCO ₃	< 700 ppm
Alcalinidad Cáustica	> 350 ppm
Secuestrantes de Oxígeno:	
<input type="checkbox"/> Sulfito de Sodio	30 – 70 ppm
<input type="checkbox"/> Hidrazina	0.1 – 10 ppm
<input type="checkbox"/> Taninos	120 – 180 ppm
<input type="checkbox"/> Dietilhidroxilamina	0.1 – 1.0 ppm (en agua alimentación)
Fosfato Na ₃ PO ₄	30 - 60 mg/l
Hierro	< 3.0 ppm
Sílice	150 ppm
Sólidos disueltos	< 3500 ppm
Sólidos en suspensión	< 200 ppm
Conductividad	< 7000 uS/cm
Condición general	Incoloro, claro y libre de agentes insolubles.

Tabla n°2: Requerimientos agua caldera según BS 248 6.

5. Problemas más Frecuentes

A continuación se describen los problemas, asociados al tratamiento de agua, encontrados con mayor frecuencia en las calderas.

5.1 CORROSIÓN.

Las principales fuentes de corrosión en calderas son la Corrosión por Oxígeno o "Pitting" y la Corrosión Cáustica.

A continuación se describe en que consiste cada uno de estos tipos de corrosión, cuáles son los factores que la favorecen, que aspecto tiene y de que manera pueden ser prevenidas

5.1.1 Corrosión por Oxígeno o “Pitting”.

La corrosión por oxígeno consiste en la reacción del oxígeno disuelto en el agua con los componentes metálicos de la caldera (en contacto con el agua), provocando su disolución o conversión en óxidos insolubles.

Los resultados de este tipo de corrosión son tubérculos de color negro, los que se forman sobre la zona de corrosión, tal como lo muestra la figura n°2.



Figura n°2: Corrosión por oxígeno o “pitting”.

Dado que la corrosión por oxígeno se produce por la acción del oxígeno disuelto en el agua, esta puede producirse también cuando la caldera se encuentra fuera de servicio e ingresa aire (oxígeno).

La prevención de la corrosión por oxígeno se consigue mediante una adecuada desgasificación del agua de alimentación y la mantención de un exceso de secuestrantes de oxígeno en el agua de la caldera.

5.1.2 Corrosión Cáustica.

La corrosión cáustica se produce por una sobreconcentración local en zonas de elevadas cargas térmicas (fogón, cámara trasera, etc.) de sales alcalinas como la soda cáustica.

Este tipo de corrosión se manifiesta en forma de cavidades profundas, semejantes al “pitting” por oxígeno, rellenas de óxidos de color negro, presentes solamente en las zonas de elevada liberación térmica (fogón, placa trasera y cámara trasera) de una caldera.

La corrosión cáustica puede ser prevenida manteniendo la alcalinidad, OH libre y pH del agua de la caldera dentro de los límites recomendados en el punto 4.



Figura n°3: Corrosión cáustica en fogón de una caldera.

5.1.3 Corrosión Líneas Retorno Condensado

Las líneas de retorno de condensado, lógicamente no forman parte de una caldera, sin embargo, su corrosión tiene efectos sobre las calderas y puede ser prevenida con el tratamiento de agua.

La corrosión de las líneas de retorno de condensado tiene efectos sobre una caldera, ya que, los óxidos (hematita) producidos son arrastrados a la caldera con el agua de alimentación. Toda caldera cuyo lado agua tiene un color rojizo presenta problemas de corrosión en las líneas de retorno de condensado.

La corrosión en las líneas de retorno de condensado se produce por la acción del ácido carbónico que en éstas se forma.

La prevención de la corrosión en las líneas de retorno de condensado, puede ser conseguida mediante aminas neutralizantes que neutralizan la acción del ácido carbónico y aminas fílmicas que protegen las líneas.

Estas aminas son volátiles por lo que al ser dosificadas a las líneas de alimentación de agua, son arrastradas por el vapor producido en la caldera.

5.2 Incrustaciones

Las incrustaciones corresponden a depósitos de carbonatos y silicatos de calcio y magnesio, formados debido a una excesiva concentración de estos componentes en el agua de alimentación y/o regímenes de purga insuficientes.

En la figura nº4 es posible observar la corrida superior de los tubos de humo de una caldera con incrustaciones de espesores superiores a los 8 mm.

La acción de dispersantes, lavados químicos o las dilataciones y contracciones de una caldera pueden soltar las incrustaciones, por lo que deben ser eliminadas de una caldera muy incrustada para prevenir su acumulación en el fondo del cuerpo de presión, tal como lo muestra la figura nº5.

En el caso de que estas incrustaciones no sean removidas, se corre el riesgo de embancar la caldera y obstruir las líneas de purga de fondo, con lo que el problema puede tornarse aun más grave.



Figura nº4: Incrustaciones en tubos de humo.

La presencia de incrustaciones en una caldera es especialmente grave debido a su baja conductividad térmica actúa como aislante térmico, provocando problemas de refrigeración de las superficies metálicas y puede llegar a causar daños por sobrecalentamiento.

En la figura nº6 se muestra el efecto del espesor de la capa de incrustaciones de una caldera, en la temperatura del metal. A medida que aumenta el espesor de la capa de incrustaciones, para un mismo flujo de calor, aumenta la temperatura del metal.



Figura n°5: Acumulación incrustaciones en fondo cue rpo presión caldera.

La formación de incrustaciones en una caldera puede ser prevenida, satisfaciendo los requerimientos del agua de alimentación y agua de la caldera incluidos en el punto 4, tratando el agua de alimentación y manteniendo adecuados regímenes de purga.

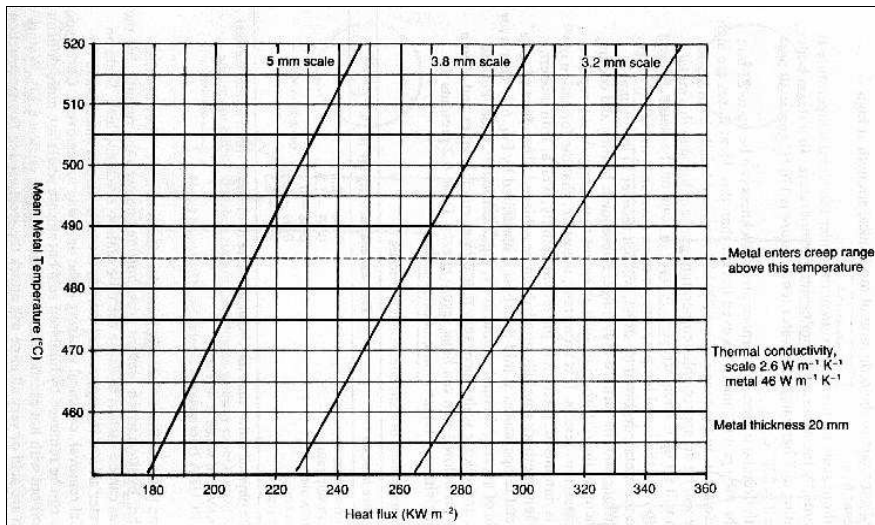


Figura n°6: Efecto de incrustaciones y flujo de calor en la temperatura del metal.

5.3 Arrastre de Condensado

El arrastre de condensado en una caldera tiene relación con el suministro de vapor húmedo (con gotas de agua). El suministro de vapor húmedo puede tener relación con deficiencias mecánicas y químicas.

Las deficiencias mecánicas tienen relación con la operación con elevados niveles de agua, deficiencias de los separadores de gota, sobrecargas térmicas, variaciones bruscas en los consumos, etc.

Por otro lado las deficiencias químicas tienen relación con el tratamiento de agua de la caldera, específicamente con excesivos contenidos de alcalinidad, sólidos totales (disueltos y en suspensión) y sílice, que favorecen la formación de espuma.

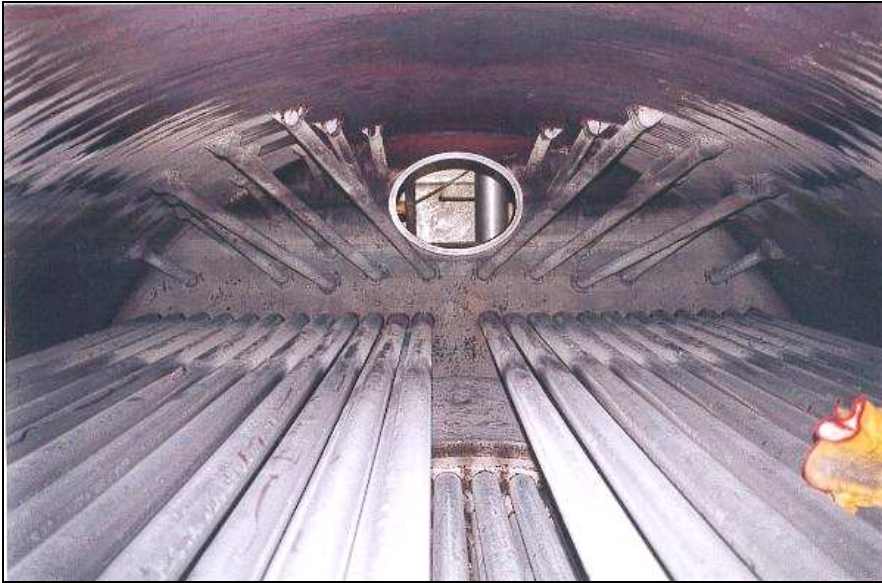


Figura n°7: Arrastre de condensado por excesiva con centración de sólidos.

Para prevenir el arrastre debido a deficiencias en el tratamiento de agua, se recomienda mantener los siguientes límites de los contenidos de alcalinidad, sólidos totales y sílice:

- Alcalinidad total (CaCO_3) < 700 ppm
- Contenido de sílice (SiO_2) < 150 ppm
- Sólidos disueltos < 3500 ppm

En la figura n°7 se muestran una vista interior de la cámara de vapor de una caldera, en cuyas paredes se nota la irregularidad del nivel de agua provocada por un excesivo contenido de sólidos en el agua.

6. Equipos Tratamiento de Agua

En la figura n°8 se muestran los equipos que intervienen en el tratamiento de agua de una planta térmica.

En la anterior figura se muestran ablandadores, bombas dosificadoras y un desgasificador con su respectiva estanque de almacenamiento de agua.

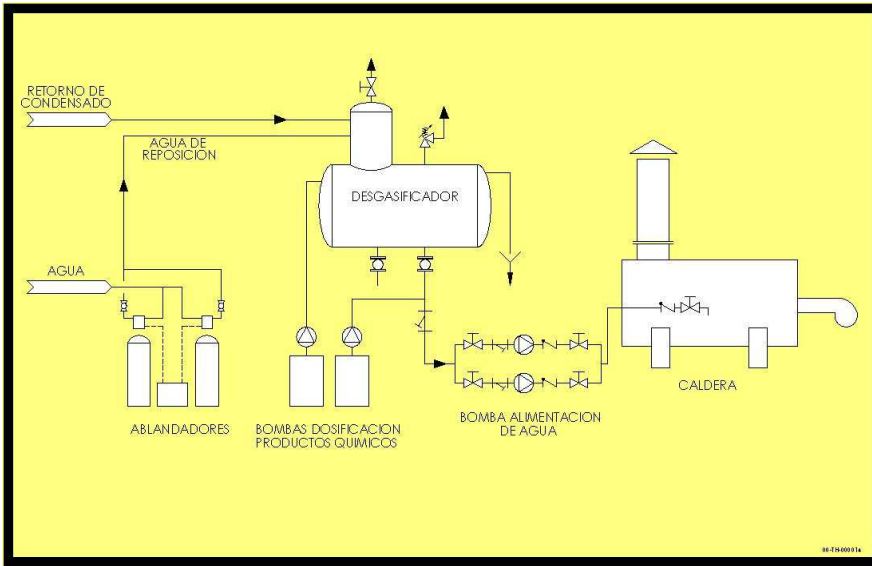


Figura n°8: Equipos tratamiento de agua para calderas.

6.1 Ablandadores

La función de los ablandadores es eliminar los iones de Ca y Mg, que conforman la dureza del agua y favorecen la formación de incrustaciones en una caldera.

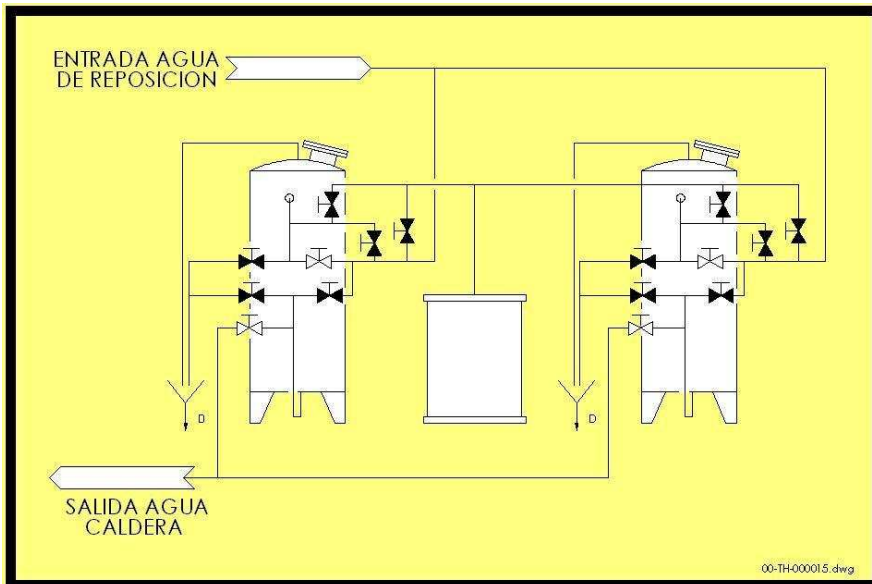
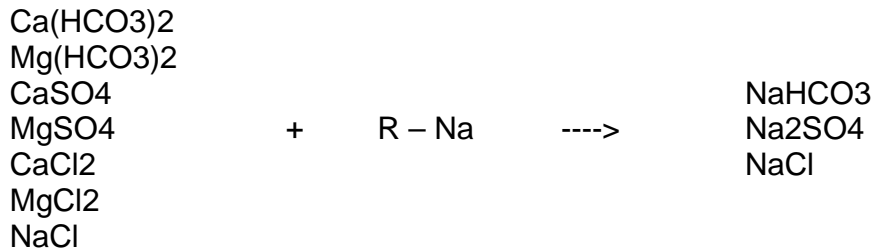


Figura n°9: Ablandadores.

El principio de funcionamiento de estos equipos se basa en un proceso llamado "intercambio iónico", que consiste en la sustitución de estos iones por sodio (Na) para obtener agua para ser utilizada en calderas.

Los ablandadores están compuestos por resinas, que poseen una capacidad de intercambio de iones de calcio y magnesio por sodio.

Agua Dura Resina Agua Blanda



En el caso de que la capacidad de entrega de agua blanda de estos equipos se vea disminuida (agua entregada con dureza mayor a 6 ppm expresada como CaCO₃), es necesario llevar a cabo una regeneración para recuperar la capacidad de intercambio de las resinas.

La regeneración es realizada con sal sódica (NaCl) de calidad técnica con una concentración de 150 a 250 gr/l de resina.

6.2 Desgasificador

La función de un desgasificador en una planta térmica es eliminar el oxígeno y dióxido de carbono disueltos en el agua de alimentación de las calderas para prevenir problemas de corrosión o "pitting".

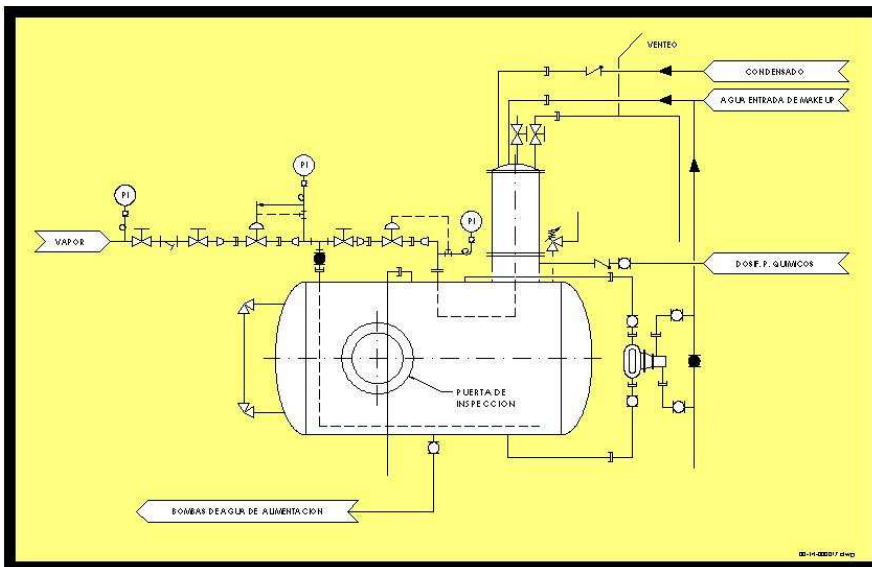


Figura n°10: Desgasificador.

En la figura n°10 se muestra el arreglo típico de los desgasificadores generalmente utilizados para eliminar los gases disueltos del agua de alimentación de las calderas.

Los componentes principales de un desgasificador, identificados en la figura anterior, son los siguientes:

- (1) : Torre de desgasificación.
- (2) : Estanque de agua de alimentación.
- (3) : Manómetro.
- (4) : Termómetro bimetálico.
- (5) : Nivel de agua.
- (6) : Válvula venteo.
- (7) : Válvula drenaje estanque de agua alimentación.
- (8) : Válvula retención línea retorno de condensado.
- (9) : Válvula retención línea agua de reposición.
- (10) : Válvula rompedora de vacío.
- (11) : Trampa de vapor de flotador para el rebalse.
- (12) : Válvula reductora de presión de vapor.
- (13) : Filtro línea vapor.
- (14) : Válvula de paso línea vapor.
- (15) : Válvula de seguridad.
- (16) : Válvula de paso línea vapor.
- (17) : Válvula de retención línea vapor.
- (18) : Control de nivel.
- (19) : Botella control de nivel.
- (20) : Válvulas de paso control de nivel.
- (21) : Controlador de nivel.
- (22) : Válvula solenoide.
- (23) : Filtro línea agua de reposición.
- (24) : Válvulas de paso línea agua de reposición.
- (25) : Válvula termostática (control temperatura agua estanque almacenamiento).
- (26) : Filtro línea vapor (calentamiento agua estanque almacenamiento).
- (27) : Válvula de paso línea vapor (calentamiento agua estanque almacenamiento).
- (28) : Válvula de retención línea vapor.

El principio de funcionamiento de los desgasificadores se basa en el hecho que la solubilidad de los gases disueltos en el agua (O₂ y CO₂) disminuye cuando el agua está en el punto de ebullición (100 °C a presión atmosférica), tal como lo muestra la figura n°11.

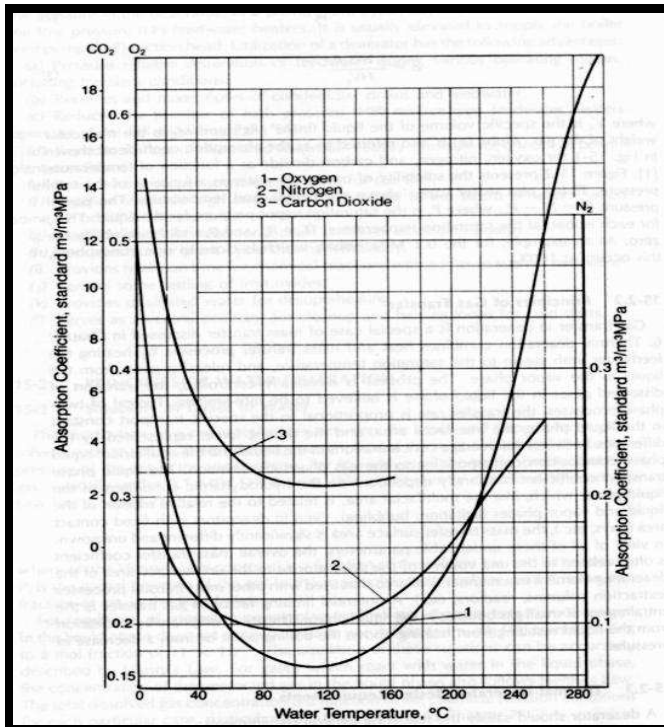


Figura n°11: Solubilidad del oxígeno en función de la temperatura del agua.

La torre de los desgasificadores está compuesta por bandejas y/o boquillas en las que se aumenta la superficie del agua alimentada, formando cascadas o atomizándola para favorecer la liberación de los gases disueltos.

El agua que desciende por la torre es calentada hasta la temperatura de ebullición por vapor alimentada en contraflujo. La cantidad de vapor alimentada a la base del desgasificador es controlada por una válvula reductora de presión, encargada de mantener la presión de ebullición del agua.

También existe una válvula termostática que controla la cantidad de vapor alimentada al estanque de almacenamiento para mantener el agua a la temperatura de ebullición.

Los gases descargados por el agua son eliminados a través del venteo existente en la parte superior de la torre.

6.3 Purgas Automáticas

Las purgas automáticas utilizadas generalmente en calderas son las purgas automáticas de fondo y las purgas automáticas de superficie.

La **purga automática de fondo** (6) está compuesta por una válvula con un actuador y un temporizador en el que se programan los ciclos de purgas (cantidad y duración) de fondo requeridas por el tratamiento de agua utilizado en la caldera.

La purga de fondo automática permite realizar en forma automática las tareas de purga, que debe efectuar el operador en forma manual.

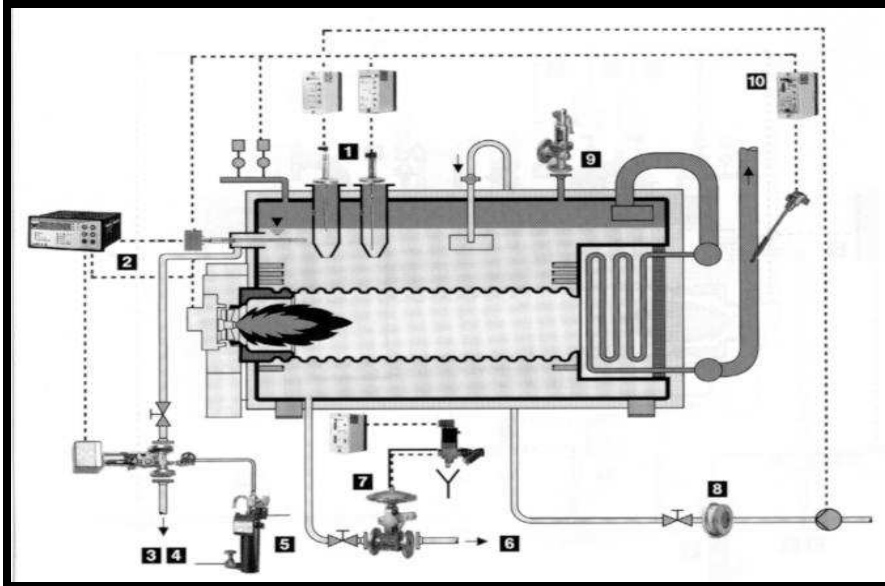


Figura nº12: Purgas automáticas para calderas.

La **purga automática de superficie** (3) está compuesta por un sensor de conductividad, una válvula con actuador y un controlador. El sensor de conductividad mide la conductividad del agua de la caldera (sólidos disueltos) y envía esta información al controlador. El controlador compara esta medición con el valor de conductividad máxima programado, para luego abrir o cerrar la válvula de purga según los resultados de esta comparación.

La purga automática de superficie permite mantener en forma automática los ciclos de concentración requeridos por la caldera. La instalación de este tipo de purgas en una caldera permite obtener ahorros (referencia ahorro = 1,5 %) de energía (combustible) por cuanto se elimina por la purga solo la cantidad de agua necesaria para satisfacer los requerimientos del tratamiento de agua.

7. Productos Químicos Tratamiento

Los productos químicos utilizados generalmente en calderas son los secuestrantes de oxígeno, dispersantes, anti-incrustantes, protectores y neutralizantes para las líneas de retorno de condensado.

La dosificación de los productos químicos debe ser realizada al estanque de almacenamiento de agua, en el caso de los secuestrantes de oxígeno, que son más efectivos mientras mayor es su tiempo de residencia en el agua antes de llegar a la caldera y a la línea de alimentación de agua en el caso de los

dispersantes, anti-incrustantes y tratamiento para las líneas de retorno de condensado.

8. Ciclos de Concentración

Los ciclos de concentración de las impurezas presentes en el agua de una caldera determinan los requerimientos de purga necesarios para prevenir problemas de corrosión y/o incrustaciones.

Las purgas son necesarias, ya que, al producirse la evaporación del agua los sólidos disueltos en el agua permanecen en la caldera, pudiendo llegar a concentrarse por sobre su solubilidad y precipitar formando incrustaciones.

La definición de los ciclos de concentración con los que debe trabajar una caldera se realiza a partir del análisis del agua de alimentación de la caldera y los parámetros recomendados en el punto 2.

Los ciclos de concentración de una caldera quedan definidos por la siguiente fórmula:

$$N_c = \frac{C_c}{C_a}$$

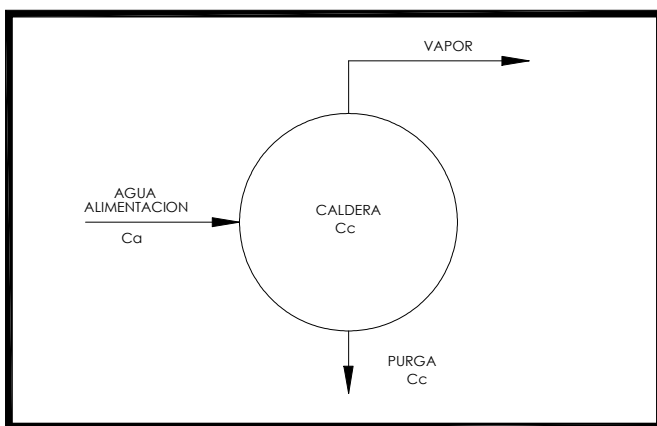


Figura n°13: Ciclos de concentración.

Donde:

- Nc : Ciclos de concentración.
- Ca : Concentración impurezas en agua de alimentación.
- Cc : Concentración impureza en caldera.

Entre las impurezas para las que deben determinarse los ciclos de concentración figuran las siguientes:

- Sólidos disueltos
- Sílice
- Alcalinidad
- Hierro

El ciclo de concentración utilizado para determinar el régimen de purgas en la caldera será el menor de los calculados para las anteriores impurezas.

El control de que el ciclo de concentración que se mantiene en una caldera es el requerido se realiza mediante la medición de los cloruros en el agua de alimentación y agua de la caldera. Los cloruros son utilizados como variable de control, ya que, no participan en el tratamiento de agua y son fáciles de medir (método de las gotas: reacción entre el nitrato de plata y el cloruro, para formar cloruro de plata y producir un cambio de coloración).

En el caso de contar con un conductímetro es posible controlar el ciclo de concentración utilizado, comparando la conductividad del agua de alimentación con la del agua de la caldera.

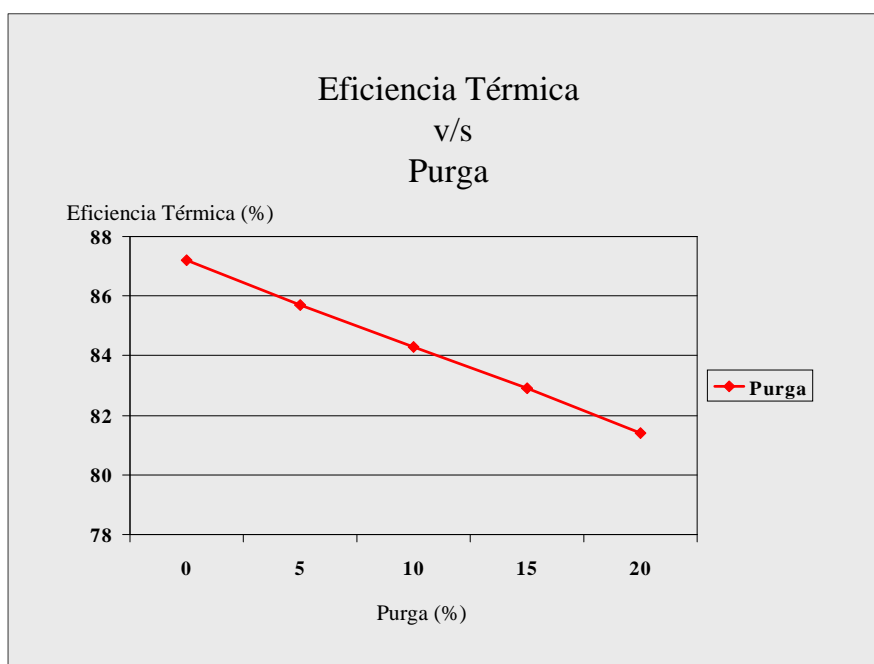


Figura nº15: Influencia purga en eficiencia térmica de una caldera.

9. Comentarios

La información entregada en el presente artículo pretende asistir al personal encargado de las Plantas Térmicas y por sobre todo llamar la atención sobre la importancia del tratamiento de agua de las calderas.

El tratamiento de agua es fundamental en la vida útil, la prevención de accidentes y la operación eficiente de las calderas.

Solo a través de tratamientos de agua rigurosos e inspecciones periódicas, por parte de especialistas, es posible asegurar la efectividad en la protección de las calderas.

Arnulfo Oelker Behn
THERMAL ENGINEERING LTDA.