

TRATAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE AGUA PARA CALDERAS Y SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO

11.0 CALDERAS Y SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO

El tratamiento y acondicionamiento de agua para uso en calderas y torres de enfriamiento, es una parte especial de la tecnología del agua ya que en estos procesos ocurren cambios y alteraciones en las características del agua.

La evaporación que ocurre cuando el agua se emplea en estos procesos, concentra las sales disueltas en el agua, por lo que alcanzan su punto de saturación y se separan del agua formando cristales algunos de ellos difíciles de remover y que dañan los equipos al formar incrustaciones en tuberías y accesorios de calderas y equipos de calentamiento y evaporación

No solo ocurre la saturación salina cuando parte del agua se evapora: también ocurre la pérdida de gases como el bióxido de carbono que se encuentra disuelto en el agua y que forma parte de la alcalinidad del agua y esto favorece la precipitación de componentes poco solubles como el calcio y el magnesio que forman precipitados o sales insolubles de carbonato de calcio e hidróxido de magnesio respectivamente.

Esta tecnología de tratamiento de agua se aplica con mucha frecuencia y en muchas industrias ya que los equipos de calentamiento y de evaporación se emplean en prácticamente todas las industrias como es la de generación de energía, farmacéutica, química, petroquímica, alimenticia, metalúrgica, de manufactura y de servicios donde se requiere de calderas para calentamiento del agua y de torres de enfriamiento para condensación del agua y disipación del calor.

Los equipos y accesorios se dañan en mayor intensidad en estos procesos de calentamiento y evaporación que en los procesos en los cuales el agua no sufre transformaciones físicas, por lo que es conveniente dar tratamiento al agua de proceso y agregar compuestos químicos que neutralicen y compensen por los efectos de calentamiento y concentración. Los problemas más comunes en calderas y sistemas de enfriamiento son los siguientes:

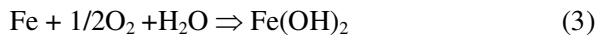
11.1 CORROSIÓN:

Uno de los problemas de desgaste en una caldera son los daños y el desgaste que se presenta por corrosión.

El oxígeno disuelto presente en el agua causa el desgaste del fierro de la estructura metálica de la caldera formando hidróxido férrico y esto causa corrosión por picadura que aparece en puntos muy localizados de la estructura. Las reacciones químicas entre el oxígeno y el fierro son las siguientes:

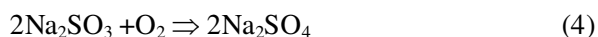


Y sumado las ecuaciones (1) y (2)



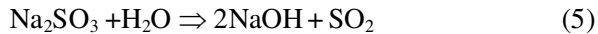
No solo el oxígeno es causante de la picadura, también el bióxido de carbono causa corrosión y este gas se genera abundantemente cuando el agua se calienta hasta el punto de ebullición

Para evitar o disminuir al mínimo la corrosión, deberán separarse los gases y ventilarse a la atmósfera, sin embargo no se separan todos los gases y sus efectos corrosivos son neutralizados por la adición de reactivos que reaccionan con el oxígeno como lo es el sulfito de sodio.



El oxígeno es uno de los agentes más corrosivos en una caldera y por esta razón debe removerse por aireación y ventilación del agua de alimentación y de condensados en el sistema, y el resto por tratamiento con sulfito de sodio.

A altas temperaturas el sulfito se descompone y pierde sus propiedades.



En calderas de alta presión. La temperatura del agua es mayor de 100°C y debe emplearse hidracina en forma de hidrato de hidracina $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ o sulfato de hidracina $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$

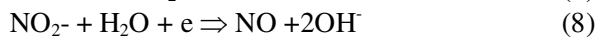
Estos productos son tóxicos y representan riesgos en su almacenamiento y manejo, pero son la mejor opción al tratamiento de calderas de alta presión para evitar la corrosión por oxígeno.

La hidracina reacciona con el oxígeno de la siguiente manera:



Si se emplea hidrato de hidracina se tiene la ventaja de que no solo se neutraliza el oxígeno sino que también no se incrementa la cantidad de sólidos disueltos y esto es una gran ventaja cuando se tiene calderas de alta presión.

Los agentes depolarizantes son aquellos que tienen la tendencia a atraer electrones de otro elemento o compuesto y favorecen la corrosión electroquímica. Ejemplo de este tipo de agentes depolarizadores son el oxígeno, el ión hidrógeno y el ión nitrito.

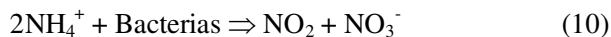


Todos estos agentes químicos aceptan electrones y los van a sacar de otro elemento o compuesto del cual los puedan extraer, como es el caso del hierro, causando la corrosión por oxidación del material del equipo que es hierro casi en su totalidad.

El oxígeno se encuentra disuelto y debe removerse por ventilación en el condensador de la caldera (junto con el corrosivo CO_2) y agregando químicos que consuman el oxígeno residual, como ya se ha descrito en párrafos anteriores.

El agua tiene menos iones hidrógeno cuando el pH tiende a lo alcalino por lo que el agua de proceso debe estar en este rango de 8 a 9 unidades de pH

Los nitritos no se encuentran originalmente en el agua pero se producen por la conversión microbiana del ión amonio producto de descomposición de la materia orgánica que es oxidado por bacterias a nitratos y nitritos:



Para minimizar el ataque corrosivo por nitritos, es necesario desinfectar el agua que se alimenta a la caldera para inhibir el crecimiento microbiano.

La alcalinidad del agua, la cual se debe parcialmente a la presencia de ácido carbónico lleva a efecto las siguientes reacciones:



Si el pH es alto, el ácido carbónico se disocia a iones hidrógeno y ión carbonato. Si el pH es bajo, se favorece la reacción en sentido contrario y el ácido no se disocia.

Si el ácido no se disocia entonces el ácido carbónico disuelto en el agua se descompone en el condensador a dióxido de carbono y agua, desprendiendo el corrosivo CO_2 .



Este gas deberá extraerse del agua que se condensa y regresa nuevamente en un circuito cerrado a la caldera, o de lo contrario se tendrán efectos corrosivos en la tubería interior y otras partes de la caldera.

Existen en el mercado membranas específicas que selectivamente remueven del condensado gases como oxígeno y bióxido de carbono.

No es mucha la información de la que se dispone en este momento por situaciones de confidencialidad y derechos de patente pero ya se comercializan y están disponibles en el mercado.

11.2 PRECIPITACIÓN DE SÓLIDOS:

Los sólidos disueltos y suspendidos que pueda contener el agua sedimentan y precipitan parcialmente cuando el agua se evapora.



Figura 1: Formación de precipitados en tubos y accesorios de las calderas por la presencia de dureza en el agua.

La mayoría de los sólidos suspendidos se concentran y son removidos en las purgas que regularmente se realizan en la caldera. Parte de los sólidos disueltos altamente concentrados también se desechan en la purga. Esta purga debe efectuarse precisamente para mantener en equilibrio los sólidos en la caldera ya que cuando parte del agua se evapora deja los sólidos disueltos que le acompañan y se acumulan en el agua que queda en la caldera.

Los sólidos disueltos pueden salir por las purgas o mantenerse en solución en el agua de la caldera pero también ocurre la precipitación al formarse sales insolubles como carbonato de calcio y óxidos de magnesio principalmente. La sílice presente en el agua también es parte de los precipitados y contribuye a formar depósitos cristalinos muy firmes y difíciles de desprender y lo mismo ocurre con las partículas sólidas que el agua pueda contener, por lo que calcio y magnesio (dureza del agua), sílice y sólidos suspendidos son factores de control en el tratamiento de agua para calderas.

Se pueden agregar químicos para mantener calcio y magnesio en suspensión o para formar con estos elementos precipitados menos firmes y que sean más fáciles de remover. Los fosfatos cumplen con esta función ya que el fosfato de calcio $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ es más insoluble ($K_{ps}=2.8 \times 10^{-9}$) que el carbonato de calcio CaCO_3 ($K_{ps}=2 \times 10^{-29}$) y precipita preferentemente, pero este precipitado de fosfato de calcio no se adhiere al metal y es mucho más fácil de remover que la caliza formada al precipitar el calcio como carbonato.

Otra forma de evitar la precipitación es con el ablandamiento del agua.

El ablandamiento o suavización del agua es como se ha descrito en el capítulo correspondiente consiste en el intercambio de calcio y magnesio presente en las aguas naturales, por iones sodio.

Cuando se emplea agua blanda en las calderas las sales que se concentran son de naturaleza no incrustante ya que con el tratamiento con resinas en ciclo sodio el calcio y el magnesio se reemplazan por sodio y las sales formadas salen expulsadas en la purga de la caldera sin que ocurra la precipitación.

Otra forma de evitar la formación de sarro en las calderas es removiendo completamente las sales por osmosis inversa, del agua que se emplea como agua de alimentación a las calderas y en este caso no solo se remueven las sales incrustantes sino todos los sólidos disueltos y las purgas en las calderas se reducen al mínimo ya que no existe el problema de formación de incrustaciones.

La corrosión y la formación de incrustaciones son los problemas más serios de un sistema de producción de vapor.

Tabla I: Componentes de importancia en el agua de caldera

<i>Componente</i>	<i>Efectos</i>	<i>Tratamiento recomendable del agua de proceso</i>	<i>Comentarios adicionales</i>
Gases solubles			
H ₂ S ácido sulfhídrico	Aroma objetable. El gas es corrosivo	Aireación, coloración	Se puede encontrar en aguas de pozo
Bióxido de carbono CO ₂	Corrosivo, forma ácido carbónico en el condensador	Deaeración, neutralización con álcalis	Se pueden agregar aminas para prevenir la corrosión en las líneas de condensado
Oxígeno	Corrosión por picaduras en partes localizadas en las calderas.	Deaeración, tratamiento químico con sulfito de sodio o hidracina. Membranas especiales para remoción de oxígeno	Uno de los gases más corrosivos presentes en el agua. Daña las partes de caldera, condensador y hojas de las turbinas en plantas termoeléctricas
Sólidos suspendidos			
Sólidos suspendidos	Forman costras. coprecipitan con carbonatos y sulfatos	Filtración (UF, NF, OI)	También pueden contaminar el vapor generado en la caldera cuando son arrastrados en la espuma
Materia orgánica	Forman espuma. Pueden tapar las líneas y causar corrosión al descomponerse por bacterias o por efectos térmicos.	Filtración (UF, NF, OI)	Ocurre principalmente en aguas de pozo o de fuentes superficiales de mala calidad
Sólidos disueltos			
Aceites y grasas	Causantes de formación de espumas	Sedimentación, Filtración (UF, NF, OI)	Disminuyen la calidad del vapor generado y causan problemas en la operación
Calcio y magnesio	Forman depósitos incrustantes que inhiben la transferencia de calor. pueden causar la explosión de una caldera por acumulación de energía en puntos localizados	Ablandamiento del agua con resinas en ciclo sodio. NF, OI	La corrosión y la formación de incrustaciones son los dos parámetros más importantes en la operación de calderas.

UF Ultrafiltración

NF Nanofiltración

OI Osmosis Inversa

La corrosión daña irreversiblemente la estructura de los equipos, acortando la vida útil de estos y lo mismo ocurre con la incrustación.

La incrustación disminuye drásticamente el coeficiente de transferencia de calor, y la energía térmica generada en la combustión no se transmite eficientemente con dos consecuencias muy desfavorables: mayores consumos de combustible por kilogramo de agua evaporado y desgaste acelerado de tubos y accesorios de la caldera (fatiga mecánica), por sobrecalentamiento de la estructura metálica.

11.3 ESPUMAS:

Es muy frecuente la formación de espumas cuando el agua hierve en la caldera, y esto se debe a que los gases disueltos que tiene el agua, como O₂, CO₂, etc. Pasan de la fase acuosa a la fase de vapor de acuerdo a la relación de Henry que establece que la solubilidad de los gases en un medio acuoso disminuye a medida que aumenta la temperatura de la fase líquida.

Si el agua contiene trazas de materia orgánica, así como grasas y aceites, se presentan películas en la interfase agua-vapor que impiden que los gases escapen libremente y esto disminuye la eficiencia de la caldera y causa problemas con el agua de proceso que se encuentra en un circuito cerrado en la caldera y demás componentes del sistema de producción de vapor.

La formación de espumas también se puede presentar cuando la caldera no se purga con la frecuencia requerida y se presenta este efecto que causa problemas de operación y disminuye la calidad del vapor, ya que se puede presentar el arrastre de partículas de sólidos con el vapor.

11.4 AGUA DE ENFRIAMIENTO:

Es muy común que la industria y los servicios requieran de un sistema de enfriamiento. El calor generado en una refinera de petróleo, en la generación de energía eléctrica, en la industria química, etc. debe disiparse a la atmósfera exterior por medio de torres de enfriamiento o torres evaporativas.

Estos sistemas de enfriamiento también se emplean con fines de acondicionamiento de ambiente para disminuir la temperatura en verano o en climas calurosos y secos enfriando el aire que se renueva constantemente en el medio ambiente.

En el caso de torres evaporativas el agua de enfriamiento sufre cambios en sus características y propiedades ya que los componentes del agua se concentran y la cantidad de sólidos disueltos y suspendidos que contiene el agua aumentan en su concentración.

Tabla II Componentes de importancia en el agua de enfriamiento por medios evaporativos

<i>Componente</i>	<i>Efectos</i>	<i>Tratamiento recomendable del agua de proceso</i>	<i>Comentarios adicionales</i>
Gases solubles			
Bióxido de carbono CO ₂	Corrosivo, forma ácido carbónico.	Deaireación, neutralización con álcalis	No es tan drástica su acción corrosiva como en una caldera, pero debe neutralizarse el bióxido de carbono residual.
Oxígeno	Corrosión y corrosión por picaduras en las calderas	Deaireación, tratamiento químico con sulfito de sodio o hidracina. Membranas especiales para remoción de oxígeno	No es tan drástica su acción corrosiva como en una caldera, pero debe neutralizarse el oxígeno disuelto residual.
Sólidos suspendidos			
Sólidos suspendidos	Forman costras. coprecipitan con carbonatos y sulfatos	Filtración (UF, NF, OI)	Disminuyen la eficiencia evaporativa del equipo
Materia orgánica	Se deposita en las diferentes partes y componentes del equipo. Son sustrato para desarrollo de los microorganismos	Filtración (UF, NF, OI)	Dan origen al problema más común en un sistema evaporativo que es el control de microorganismos
Sólidos disueltos			
Calcio y magnesio	Forman depósitos incrustantes en el medio que inhiben la transferencia de calor o disipación de energía al medio ambiente	Ablandamiento del agua con resinas en ciclo sodio. NF, OI	Disminuyen la eficiencia de la torre de enfriamiento, al calcificar el medio o empaque de la torre
Microorganismos			
Hongos, algas y bacterias	Representan un riesgo sanitario, interfieren negativamente al formar biopelículas que impiden la transferencia interfase	Adición de algicidas, biocidas y desinfectantes como cloro, peróxido, etc. Desinfección por medio de radiación UV de 254 nm	Es uno de los parámetros de mayor importancia en el control de torres de enfriamiento.

UF Ultrafiltración
NF Nanofiltración
OI Osmosis Inversa

Este incremento en sales y sólidos puede conducir a la precipitación, especialmente las más insolubles como son los carbonatos de calcio y los óxidos de magnesio, por lo que en las torres evaporativas uno de

los principales problemas en su operación y mantenimiento es la formación de depósitos de sarro en tuberías y accesorios del equipo.

También, los precipitados de sales cristalinas se depositan en el medio de empaque de la torre y su eficiencia en enfriamiento disminuye, ya que el área de contacto en la interfase aire-agua se afecta negativamente por los cristales formados.

Si el agua no está completamente limpia y contiene sólidos suspendidos, estos también coprecipitan con los carbonatos, óxidos y sulfatos insolubles, por lo que para evitar el taponamiento del medio de empaque el agua de proceso no debe contener materia coloidal suspendida.

La oxidación del material de la torre o sistema de enfriamiento es otro de los problemas que se presentan en esta operación unitaria.

Aunque no son tan severas las condiciones de operación como en una caldera, los gases disueltos en el agua como bióxido de carbono y oxígeno causan corrosión, por lo que es necesario agregar agentes químicos para neutralizar la acción de estos.

Uno de los principales problemas en sistemas de enfriamiento es el crecimiento de especies microbiológicas como hongos, algas y bacterias que se desarrollan sobreviven y subsisten de los materiales que se forman en el sistema de enfriamiento y que aprovechan como sustrato.

Estos microorganismos atacan el fierro y forman coágulos y depósitos de biomasa que cambian el patrón de flujo del agua y disminuyen la eficiencia de intercambio entre la masa de aire que circula por la torre o sistema de enfriamiento y el agua que transfiere masa y energía térmica a los alrededores.

En una caldera el problema microbiano no es frecuente ni crítico a menos que se tenga un sistema de desinfección muy deficiente en el agua de entrada. En una torre de enfriamiento, la desinfección y control microbiano es uno de los parámetros de control más importantes en la operación del sistema y debe tenerse un programa estricto de desinfección y control microbiológico para evitar que los diferentes microorganismos que se adaptan a este medio, se desarrollen en los sistemas evaporativos.

Los sistemas evaporativos tienen fines de acondicionamiento del ambiente, en verano o en lugares donde se alcanzan altas temperaturas y el aire es seco.

Un equipo de este tipo se emplea para mantener una temperatura y una humedad relativa agradable en lugares como: casas habitación, hoteles, restaurantes, talleres, oficinas, etc. Por esta razón es muy importante la desinfección del agua de alimentación y de proceso ya que entre otros microorganismos se desarrolla una bacteria conocida como legionella, la cual habita en sistemas evaporativos en los cuales no se tiene control microbiológico o este es deficiente.

Esta bacteria fue causante de la muerte por infección y complicaciones posteriores de varias personas en una reunión de legionarios en Estados Unidos y por eso su nombre de legionella.

La tabla II es un resumen de los componentes físicos y químicos que puede contener el agua y de los tratamientos sugeridos para remover las sustancias indeseables y corregir los problemas causados por estos componentes