

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA CALDERAS Y CIRCUITOS DE  
REFRIGERACIÓN EN FUNCIÓN DEL TRATAMIENTO DEL AGUA DE  
ALIMENTACIÓN**

**Alfredo Arnoldo Andrade López**

**Asesorado por Ing. Leonidas Antonio Martínez Zúñiga**

**Guatemala, mayo de 2005**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA CALDERAS Y CIRCUITOS DE  
REFRIGERACIÓN EN FUNCIÓN DEL TRATAMIENTO DEL AGUA DE  
ALIMENTACIÓN**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

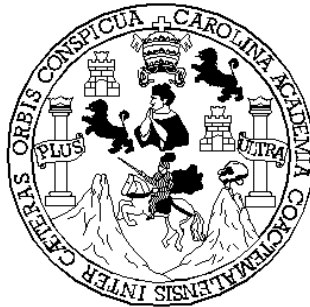
**PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**POR**

**ALFREDO ARNOLDO ANDRADE LÓPEZ**  
**ASESORADO POR ING. LEONIDAS MARTÍNEZ**  
**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE**  
**INGENIERO MECÁNICO**

**GUATEMALA, MAYO DE 2005**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Ing. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. José Arturo Estrada Martínez
EXAMINADOR	Ing. Raymond Ludwin Taylor Cruz
EXAMINADOR	Ing. Anacleto Medina Gómez
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA CALDERAS Y CIRCUITOS DE REFRIGERACIÓN EN FUNCIÓN DEL TRATAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Mecánica con fecha abril de 2003.

---

Alfredo Arnoldo Andrade López

Guatemala, 17 de agosto de 2004.

Ingeniero  
José Arturo Estrada Martínez  
Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Estrada:

Respetuosamente me comunico con usted para informar que he asesorado y revisado el trabajo de graduación "MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA CALDERAS Y CIRCUITOS DE REFRIGERACIÓN EN FUNCIÓN DEL TRATAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN", del estudiante Alfredo Arnoldo Andrade López con carné 9312213; determino que cumple con los requisitos establecidos y por su importancia doy mi aprobación al encontrarlo satisfactorio.

Sin otro particular, atte.

---

Ing. Químico Leonidas Martínez  
Colegiado 529  
Asesor

## DEDICATORIA

A Dios

A mis padres

Alfredo Justiniano Andrade

Ilma Laura López de Andrade

Por sus sacrificios y su incondicional apoyo  
para que culminara mi carrera estudiantil

A mi esposa

Claudia de Andrade

Amor de mi vida y apoyo fundamental en  
mi carrera universitaria

A mis hermanos

Wilhem Estuardo y su esposa Marty

Carmen Marisol

A mis hijos

Adriana Paola

Edgar Antonio

A mis sobrinas

Adda Linssyn

Maria Laura

Amy Marisol

Katherine

A

Mis familiares y amigos

## AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Leonidas Martínez por su gran colaboración en el desarrollo, supervisión y asesoría para la culminación del presente trabajo.

A POLCHEMICAL (Fábrica de Productos Químicos para la Limpieza) por permitirme realizar la investigación y desarrollo de este trabajo de graduación.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>vii</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xiii</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>xv</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>xvii</b>
<b>1. IMPUREZAS DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1    Conceptos básicos del agua.....	1
1.2    Ciclo hidrológico y las aguas naturales.....	1
1.3    Clasificación de sustancias contenidas en el agua.....	2
1.3.1    Efecto de las impurezas.....	4
1.4    Equilibrio iónico.....	5
1.4.1    Disociación de electrolitos en soluciones acuosas .....	6
1.4.2    Incidencia de la temperatura en los procesos que tienen lugar soluciones acuosas.....	7
<b>2. PROBLEMAS EN CALDERAS Y ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA.....</b>	<b>9</b>
2.1    Incrustación.....	9
2.1.1    Grado de dureza.....	10



2.1.2	Causas de incrustación.....	11
2.1.3	Precipitados más frecuentes.....	12
2.1.4	Riesgos de operación y daños mecánicos producidos por incrustaciones.....	13
2.1.5	Pérdidas de energía debido a incrustaciones.....	14
2.1.6	Protección y prevención de la incrustación.....	14
2.2	Corrosión.....	16
2.2.1	Velocidad de corrosión y causas.....	16
2.2.2	Otros tipos de corrosión.....	17
2.2.3	Daños mecánicos causados por corrosión.....	18
2.2.4	Protección y prevención contra la corrosión.....	19
2.3	Otros problemas.....	21
2.3.1	Arrastres y su prevención .....	21
2.3.2	Ataque cáustico y su control.....	22
2.3.3	Corrosión en tuberías de vapor y su prevención.....	23
2.3.4	Control de oxígeno disuelto.....	23
2.3.5	Cómo distorsionar los cristales depositados (desincrustación).....	24

<b>3.</b>	<b>PROGRAMA PARA TRATAMIENTO INTERNO DE CALDERAS.....</b>	<b>27</b>
3.1	Finalidad de los tratamientos para calderas.....	27
3.2	Estudio de las propiedades del agua del pozo.....	28
3.3	Estudio de las condiciones actuales y de operación en la caldera..	31
3.3.1	Calderas incrustadas.....	33
3.3.2	Calderas no incrustadas.....	34
3.3.3	Calderas de alta y baja presión.....	35
3.4	Determinación del tipo de tratamiento al agua de alimentación.....	36
3.5	Control de rangos de los parámetros.....	37
3.5.1	Acidez o alcalinidad del agua.....	37
3.5.2	Variantes en el régimen de purga.....	37
3.5.3	Valor de la dureza.....	38
3.5.4	Presencia de sílice y hierro.....	39
3.5.5	Cloruros.....	39
3.5.6	Alcalinidad hidróxidos.....	40
3.5.7	Alcalinidad total.....	40
<b>4.</b>	<b>PROBLEMAS EN CIRCUITOS DE REFRIGERACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA.....</b>	<b>41</b>
4.1	Incrustaciones.....	41
4.1.1	Causas.....	41
4.1.2	Daños mecánicos producidos por Incrustaciones.....	42
4.1.3	Acondicionamiento antincrustante.....	43
4.1.4	Control de la incrustación.....	44

4.2	Corrosión.....	44
4.2.1	Causas.....	44
4.2.2	Acondicionamiento anticorrosivo.....	45
4.2.3	Control de la corrosión.....	46
4.3	Reproducción de microorganismos.....	47
4.3.1	Causas.....	47
4.3.2	Acondicionamiento biocida.....	49
4.3.3	Control biocida.....	49

## **5. PROGRAMA PARA TRATAMIENTO DE TORRES**

	<b>DE ENFRIAMIENTO Y CONDENSADORES.....</b>	<b>51</b>
5.1	Finalidad de los tratamientos.....	51
5.2	Estudio de las propiedades del agua del pozo.....	52
5.3	Estudio de las condiciones de operación en los sistemas.....	53
5.3.1	Tipos de circuitos.....	53
5.3.1.1	Circuitos abiertos.....	53
5.3.1.2	Circuitos cerrados.....	54
5.3.1.3	Circuitos herméticos.....	55
5.4	Determinación del tratamiento y dosificación de productos químicos.....	55
5.4.1	Control con limpiezas físicas.....	57
5.4.2	Desinfección periódica.....	58
5.5	Control de rangos de los parámetros.....	58
5.5.1	Acidez o alcalinidad del agua.....	58
5.5.2	Variantes en el régimen de purga.....	59
5.5.3	Valor de la dureza.....	59
5.5.4	Valor del índice de saturación.....	60

<b>6. MANTENIMIENTO PARA CALDERAS INACTIVAS.....</b>	<b>63</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>69</b>
<b>APÉNDICE.....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>85</b>

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Cámara de vapor de una caldera incrustada	74
2	Caldera pirotubular en proceso de cambio de tubos	75
3	Caldera pirotubular con indicios de incrustación	76
4	Corrosión en una caldera, intersección tubo espejo	77
5	Fugas en tubería por mal tratamiento de agua	78
6	Proceso de desincrustación en una caldera pirotubular	79
7	Cámara de vapor de una caldera pirotubular, tratamiento efectivo	80
8	Incrustación severa en un condensador	81
9	Condensador evaporativo	82
10	Banco de tubos de caldera pirotubular	83
11	Secuencia de purgas	84
12	Caldera pirotubular	87
13	Caldera acuatubular	87
14	Hoja de control de parámetros	88
15	Esquema típico de una torre de refrigeración	89
16	Circuito de refrigeración abierto	90
17	Circuito de refrigeración cerrado	91
18	Circuito de refrigeración hermético	93
19	Tabla de índice de Langelier	95
20	Bitácora de control en calderas	97

## TABLAS

I	Clasificación de impurezas del agua	3
II	Tipos de incrustación en calderas de vapor	12
III	Interpretación de los ciclos de concentración	20
IV	Clasificación de la dureza	29
V	Rango de acidez o alcalinidad	30
VI	Variables, daños y tratamiento función del agua en calderas	71
VII	Productos y mecanismo de acción para el tratamiento de agua en calderas	72
VIII	Productos químicos utilizados en circuitos de refrigeración	73
IX	Pérdidas de energía debido a incrustaciones	85
X	Rango permisible de algunos parámetros según la presión de trabajo	86

## GLOSARIO

<b>Ácido</b>	Compuesto que cede iones hidrógeno, como el ácido sulfúrico.
<b>Álcali</b>	Sustancia que neutralizaría un ácido
<b>ASTM</b>	Sociedad Americana para pruebas y materiales
<b>Base</b>	Compuesto que puede reaccionar con los ácidos para formar sales y en solución acuosa produce iones oxhidrilo.
<b>Ciclos de concentración</b>	Cantidad de veces que va ingresar un mineral al agua, se va a concentrar y salir de la caldera por la purga sin ocasionar ningún daño
<b>Coloide</b>	Sustancia gelatinosa que parece estar en disolución, pero realmente está en suspensión. Está formada por partículas finas (menor a 0.2 micrómetros)
<b>Concentración</b>	Aplicable a las soluciones; expresa la relación de la sustancia disuelta con la cantidad de agua, normalmente expresada como una relación en peso.

<b>Dureza</b>	Medida de las cantidades de compuestos de calcio y magnesio en solución acuosa.
<b>Ión hidrógeno</b>	Ión formado por hidrógeno con símbolo H <sup>+</sup> , forma un ácido cuando se combina con alguna impureza del agua.
<b>Is</b>	Índice de saturación, diferencia entre la medida de acidez o alcalinidad de una muestra de agua y su pH de saturación.
<b>pH</b>	Medida de la concentración de iones hidrógeno, valora la acidez o alcalinidad relativa de una solución.
<b>pHs</b>	pH de saturación, dado por las características del agua en relación con la carta de saturación
<b>Polchemical</b>	Fábrica de productos químicos óptimos para la limpieza.
<b>ppm</b>	Partes por millón, cantidad de impurezas sobre una base en peso de un millón de libras o Kg. Igual a mg/l cuando la densidad de la solución es igual a 1
<b>Purga</b>	Conexión de drenaje ubicado en diferentes puntos de calderas y unidades de refrigeración.



<b>Precipitado</b>	Sustancia sólida que se separa de una solución por reacción o sobresaturación.
<b>Sales</b>	En solución forman iones distintos del hidrógeno y del oxhidrilo. Son producto de un ácido y una base o un ácido y ciertos metales.
<b>Soluble</b>	Capacidad de una sustancia para entrar en disolución.
<b>Total sólidos disueltos</b>	Cantidad de materia disuelta en el agua conformada por carbonatos, bicarbonatos, cloruros y sulfatos.
<b>Tratamiento externo</b>	Eliminación de minerales del agua antes de entrar a cualquier circuito de vapor o refrigeración.
<b>Tratamiento umbral</b>	También llamado vacunación de aguas o tratamiento límite, no es más que la desproporción entre la cantidad de productos añadidos y el efecto producido.

## RESUMEN

El tratamiento del agua de alimentación para calderas de vapor y circuitos de refrigeración, no es considerado como medida de prevención. Las unidades expuestas a incrustación, corrosión y crecimiento de microorganismos, ocasionan paros inesperados, costosas reparaciones y deficiencia en los procesos.

Los daños que reducen la vida útil de estas unidades, son contrarrestados con un adecuado producto y control. La inversión resulta menor, que la sustitución de superficies deterioradas.

Las previsiones externas, no son suficientes para optimizar el rendimiento en los intercambiadores; es requerido conocer las características del agua a tratar y las condiciones de operación.

El mantenimiento preventivo de calderas de vapor, se limita a secuestrar el oxígeno disuelto en el agua, porque oxida las superficies de transferencia de calor. El total de sólidos disueltos (cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos) superior a 3500 partes por millón, ocasiona corrosión por su tendencia a crear celdas electrolíticas. La dureza superior a cero tiene un comportamiento incrustante. El pH superior a 12 incrementa la fragilidad cáustica y menor a 7 genera corrosión por formación de ácido carbónico.

El sulfito secuestra oxígeno. El hidróxido de sodio estandariza el pH, un régimen de purgado normaliza el total de sólidos disueltos y un polímero, fosfonato o fosfato suaviza el agua, es decir, reduce la dureza a cero.

En torres de enfriamiento y condensadores se inter-relacionan la temperatura, alcalinidad total “m”, dureza y el total de sólidos disueltos, para que el índice de saturación sea cercano a cero, completando el tratamiento de choque con biocidas para la proliferación microbiana. El oxígeno es expulsado por ventilación.

Las limpiezas físicas maximizan la eficiencia en circuitos de refrigeración, incluso en sistemas tratados adecuadamente.

Este estudio transmite las variables que influyen en la decisión de adquirir un programa adecuado para alimentación de los sistemas, los controles permisibles en cada necesidad de calidad del agua y los riesgos en que incurre la falta de atención en los parámetros.

# OBJETIVOS

- **General**

Optimizar la eficiencia y vida útil de las superficies de intercambio de calor en calderas de vapor, agua caliente, condensadores y torres de enfriamiento, para alcanzar altos índices de productividad con un mantenimiento preventivo en función del tratamiento de agua de alimentación.

- **Específicos**

1. Conocer los problemas de los intercambiadores de calor, por causa de un mal tratamiento y su solución.
2. Establecer rutinas para control y monitoreo de parámetros en los circuitos.
3. Proporcionar información necesaria a consultores e investigadores, sobre la tolerancia de los rangos de las variables involucradas, para estandarizar el mantenimiento preventivo.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua de lluvia, al contacto con el suelo se acrecenta; el nivel depende de la geografía donde tenga que analizarse. No todas las industrias que utilizan el agua como medio de energía y procesos de enfriamiento, logran la misma calidad, cada caso requiere un análisis específico.

Un tratamiento óptimo se basa en la evaluación, dosificación, control de los productos químicos recomendados y operación de las unidades, para maximizar la vida útil en los intercambiadores.

La transferencia de calor se lleva a cabo con mayor rendimiento, en un área libre de cualquier depósito indeseado o ataque químico que interfiera.

Una superficie bien tratada representa una reducción del costo de mantenimiento por avería, por corrección, reducción de tiempo muerto que impidan el cumplimiento de la programación de producción.

Los departamentos de mantenimiento que carecen de esta información, hacen vulnerables las unidades para incrustaciones, corrosiones y crecimiento microbiológico. Es necesario adicionar al programa de mantenimiento preventivo un acertado tratamiento al agua de alimentación.

El costo, por falla total o parcial de estas unidades, es mayor en comparación con la inversión en productos químicos aplicados mensualmente.

Los daños comunes por aguas mal tratadas son descritos en los capítulos dos y cuatro, su corrección y control está regulado por variedad de productos químicos disponibles, tomando en cuenta las variables que gobiernan los requerimientos.

Programas de control para calderas de vapor y circuitos de refrigeración se encuentran en los capítulos tres y cinco, atendiendo las necesidades que obligan a evaluaciones periódicas, análisis continuos y recomendaciones.

Las calderas inactivas requieren tratamientos especiales para su protección, el capítulo seis presenta los detalles.

Este trabajo enfoca el mantenimiento para calderas que producen vapor y agua caliente, como torres de enfriamiento y condensadores.

# **1. IMPUREZAS DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN**

## **1.1 Conceptos básicos del agua**

Es un líquido insípido, inodoro e incoloro, que por ser el solvente universal por excelencia, se contamina frecuentemente de sustancias con las que entra en contacto. En la tierra la mayor fuente de agua son los océanos.

## **1.2 Ciclo hidrológico y las aguas naturales**

El ciclo inicia con la evaporación de grandes masas de agua hacia la tropósfera. Una vez evaporada, se condensa al entrar en contacto con corrientes de aire frío que producen lluvia y nieve.

El agua de lluvia tiene un pH menor que la proveniente de pozos, ríos, lagos o mares, carece de amortiguadores que lo mantengan neutro en presencia de dióxido de carbono y contaminantes como óxido de azufre, nitrógeno y oxígeno de la atmósfera.

La lluvia cae sobre la superficie de la tierra, establece contacto con rocas, sedimentos y el suelo, disolviendo sustancias minerales. Las personas, animales y vegetales, aumentan la contaminación con ácidos procedentes de la descomposición de materias orgánicas, residuos industriales y aguas sépticas cargadas en lagos y ríos.

Se llevan a cabo reacciones ácido-base, donde los ácidos del agua de lluvia (dióxido de carbono, dióxido de azufre y monóxidos de carbono) neutralizan las bases de las rocas, principalmente en aguas subterráneas con alta residencia. Los minerales aumentan el nivel de sales disueltas.

El nivel de contaminación dependerá de las condiciones atmosféricas y climáticas de la región donde precipite, las características geológicas del terreno y de su distribución como aguas superficiales o subterráneas.

### **1.3 Clasificación de sustancias contenidas en el agua**

Independientemente de sus características, son posibles cuatro casos distintos de impurezas:

1. Si la impureza es un sólido soluble, aparece en disolución.
2. Si el sólido no es soluble en agua, está en suspensión.
3. Aquellas impurezas de naturaleza gaseosa que son parcialmente solubles están en estado de absorción en el agua.
4. Las soluciones coloidales tienen partículas en suspensión, entre ellas las que están en estado de disolución y las que están en suspensión. Los coloides se definen como aquellas partículas menores de 0.2 micrómetros y mayores que 0.001 micrómetros (1 micra = 0.001 en solución (disueltas)).



Una clasificación más específica es la siguiente:

**Tabla I Clasificación de impurezas del agua**

disueltas	
Bicarbonato de calcio	Cloruro de magnesio
Bicarbonato de magnesio	Cloruro de sodio
Bicarbonato de sodio	Nitrato de calcio
Carbonato de calcio	Nitrato de magnesio
Carbonato de magnesio	Oxido de hierro
Carbonato de sodio	Sílice
Sulfato de calcio	Oxígeno
Sulfato de magnesio	Anhídrido carbónico
Sulfato de sodio	Residuos industriales
Cloruro de calcio	
en suspensión	
Lodo	
Arena	
Material vegetal	
Residuos industriales	

### **1.3.1 Efecto de las impurezas**

- ✓ Obstrucción en las redes de distribución de los circuitos de refrigeración, por la proliferación de algas y bacterias
- ✓ Incrustaciones que generan obstrucción en las redes de distribución, en los circuitos de calentamiento, de refrigeración y de manera particular en los intercambiadores de temperatura, así como una reducción de la cantidad de calor transmitido en las superficies de calderas
- ✓ Averías en tubos y planchas por la disminución de la cantidad de calor transmitido
- ✓ Corrosión y fragilidad en el acero
- ✓ Ataque de picado por presencia de oxígeno disuelto
- ✓ Arrastre de aguas y minerales por el vapor
- ✓ Costos elevados de limpieza, reparaciones e inspecciones, entrenamiento y equipos de reserva
- ✓ Pérdidas caloríficas por purgas frecuentes
- ✓ Mal rendimiento de los equipos que usan vapor contaminado
- ✓ Disminución de la vida útil de los equipos por gases que lleva el vapor

## 1.4 Equilibrio iónico

En el agua los iones se mantienen como tales con sus cargas eléctricas, positivas para los cationes y negativas para los aniones, dotando al agua de un poder conductor eléctrico que no posee en su estado puro. El agua líquida es por sí sola un cuerpo débilmente ionizado, con una disociación molecular como lo muestra la siguiente reacción:



Para una temperatura determinada se cumple que el producto de las concentraciones de los iones es igual a una constante, función de la temperatura, cuyo valor es de  $10^{-14}$  a  $25^\circ\text{C}$ . Se representa por concentraciones medidas en moles/litro.

$$[\text{H}^+] \times [\text{OH}^-] = 10^{-14}$$

El equilibrio iónico exige que se forme el mismo número de iones de cada clase y por lo tanto en el agua pura debe ser:

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7}$$

Por igualdad de iones, el agua pura es aislante, es decir, prácticamente no conduce la corriente eléctrica. Para evitar cifras tan pequeñas se utiliza el valor de pH definido como:

$$\text{pH} = \log(1/[\text{H}^+])$$

El agua pura a 25°C tiene un valor de pH igual a siete. El grado de disociación y en consecuencia el pH varía con la temperatura. Indica la tendencia de acidez o alcalinidad de la solución, si ese valor es menor o mayor de siete respectivamente. En condiciones de acidez predominan los  $H^+$ , y en solución alcalina predominarán los iones  $OH^-$ . A  $pH = 7$  la solución es neutra.

#### **1.4.1 Disociación de electrolitos en soluciones acuosas**

Dependiendo del grado de disociación, las sustancias ionizables pueden dividirse en electrolitos fuertes: los que se disocian completamente como el ácido clorhídrico, y electrolitos débiles; los que se disocian parcialmente como el ácido carbónico. Los electrolitos débiles tienen la particularidad que estando en solución acuosa, mantienen un equilibrio entre sus distintas formas de iones ácidos, porque se disocian parcialmente.

#### **Producto de solubilidad**

Una sustancia soluble en contacto con agua se disuelve hasta un límite en el que alcanza la saturación, cuando se rebasa el producto de solubilidad, se tiende a precipitar las sustancias disueltas, y la solución pasa a estar sobresaturada.

### **1.4.2 Incidencia de la temperatura en los procesos que tienen lugar en soluciones acuosas**

La densidad del agua disminuye con la temperatura, las velocidades de reacción y la solubilidad de muchas sales aumentan, lo que implica el uso de productos químicos en los tratamientos del agua con altas temperaturas.



## **2. PROBLEMAS EN CALDERAS Y ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA**

### **2.1 Incrustación**

Depósito adherente sobre las superficies metálicas de calderas, se produce en el proceso de evaporación. Es mayor donde la temperatura de los gases es más elevada.

Al evaporarse parte del agua, las sustancias contaminantes se concentran, en la fase líquida del film o película, sobre el metal. Los componentes solubles se disuelven fácilmente en el líquido que reemplaza a la burbuja de vapor anteriormente formada y las sustancias insolubles tienden a precipitar sobre la tubería.

La formación de incrustaciones es asociada con la dureza: calcio y magnesio; existen otras impurezas tales como el hierro, bario, estroncio o sílice, de similar importancia.

Las incrustaciones pueden ser:

- Lodos y depósitos sedimentarios,
- Depósitos tipo incrustación e
- Incrustaciones verdaderas

Las incrustaciones verdaderas, se forman a partir de un proceso de cristalización en una solución sobresaturada, dando lugar a la formación de cristales fusionados. Los depósitos tipo incrustación son efecto de la sedimentación de sólidos poco solubles en el proceso de precipitación.

### **2.1.1 Grado de dureza**

En agua dura es difícil la formación de espuma de jabón, ésta se facilita con la eliminación de las sales de Cal y Magnesia, es decir, cuando el agua se ha vuelto blanda. La dureza se mide en grados hidrométricos, correspondiendo cada grado a la presencia de diez mg de óxido de calcio equivalentes a 17.8 mg de carbonato de calcio por litro de agua.

La dureza se clasifica en

- \* Dureza total que corresponde al conjunto de sales de calcio y magnesio;
- \* Dureza permanente, medida después de hervir. La ebullición atrapa el anhídrido carbónico disuelto y transforma el bicarbonato cálcico soluble en carbonato prácticamente insoluble.
- \* Dureza temporal, debida al bicarbonato cálcico, es la diferencia entre la dureza total y la dureza permanente.

Las aguas cuya dureza total sea inferior a cincuenta ppm de carbonato de calcio, son consideradas dulces.



### **2.1.2 Causas de la incrustación**

La ruptura del equilibrio carbónico, es responsable de incrustaciones, particularmente rápida y completa en calderas. El anhídrido carbónico necesario para mantener este equilibrio es eliminado por el aumento de la temperatura, el carbonato cálcico al precipitar en las superficies calentadas, forma un sarro que obstruye las canalizaciones y reduce los intercambios térmicos.

Otras causas son los contaminantes en el agua de aporte: Calcio, Magnesio, Bario, Estroncio, Hierro y los productos de la corrosión interna del sistema, introducidos en el condensado como fugas.

### 2.1.3 Precipitados más frecuentes

Las incrustaciones se clasifican en duras y blandas, como se ilustra en la tabla I.

**Tabla II. Tipos de incrustación en calderas de vapor**

<b>Incrustación dura</b>	<b>Incrustación blanda</b>
Sulfato cálcico	Bicarbonato cálcico
Silicato cálcico	Carbonato cálcico
Silicato magnésico	Hidróxido cálcico
Sílice	Bicarbonato magnésico
	Carbonato magnésico
	Hidróxido magnésico
	Fosfato cálcico
	Carbonato de hierro
	Varias formas de óxido de hierro

Fuente: Kohan Anthony L. 1988:541

#### **2.1.4 Riesgos de operación y daños mecánicos producidos por incrustaciones**

Las incrustaciones son peligrosas porque tienen una conductividad térmica inferior a la del hierro. Al incrementarse actúan como un aislante, generando una transmisión de calor deficiente. Ocurre sobrecalentamiento en el metal por debajo de la incrustación, es más seria en la caldera de tubos de agua que en la de tubos de humo. *“Un recubrimiento de incrustación de 1.6 mm de espesor en tubos de agua expuestos al calor radiante puede producir la rotura del tubo, mientras que depósitos mayores en los tubos de fuego pueden producir pérdidas de eficiencia, aunque no son peligrosas” (Kohan Anthony L. 1988:543)*

##### Consecuencias de las incrustaciones

- la temperatura de los humos a la salida de las calderas (de tubos de humo) aumenta en detrimento del rendimiento calorífico; el consumo de combustible y el precio del vapor aumentan paralelamente
- la capacidad de vaporización disminuye
- el hierro es sobrecalentado, su resistencia mecánica disminuye, se producen deformaciones, quebraduras que son resultado de las roturas de los tubos
- a consecuencia de la porosidad de las incrustaciones, cuando el agua entra en contacto con el hierro sobrecalentado, aumenta su concentración en sosa cáustica y provoca corrosiones; al disociarse el oxígeno naciente, ataca el hierro.
- si un trozo de sarro, de una cierta superficie se separa, la violenta vaporización del agua que contacta con el metal caliente puede provocar que los tubos estallen.

- la incrustación bloquea la acción adecuada de los controles como el Macdonell (o nivel de agua) e incluso válvulas de seguridad.

*“Una incrustación de décimas de milímetro de espesor es suficiente (particularmente si es una incrustación silícica y de una caldera de alta presión) para que la temperatura del metal sobrepase los 600°C, límite en el cual el acero pierde la resistencia mecánica precisa” (Germain, L; Colas, L; Rouquet, J. 1982:22).*

#### **2.1.5 Pérdidas de energía debido a incrustaciones**

La variación del espesor de incrustaciones, es directamente proporcional, a la pérdida de energía, relacionada con el gasto extra de combustible, (ver anexo 1, tabla VIII). A mayor espesor de incrustaciones mayor el gasto de combustible para transferir calor y producir la misma cantidad de vapor.

#### **2.1.6 Protección y prevención contra la incrustación**

Los grandes depósitos de incrustación son un indicativo de la negligencia ante un acertado tratamiento interno del agua. Existen pretratamientos para contrarrestar este fenómeno que reducen y no eliminan el problema, consisten en ablandadores o suavizadores del agua por medio de intercambio básico, en otras palabras, intercambian iones la dureza y la resina.

Elimina depósitos incrustantes e interrumpe el mecanismo de la incrustación, un antincrustante controlador y depurador de las impurezas que no hayan sido retenidas por los suavizadores (incluyendo la sílice). Es aconsejable un alcalinizante que lleve el pH a once, evita la ruptura del equilibrio carbónico, eliminando la acumulación de carbonato cálcico o magnésico.

No obviar la utilización de un antincrustante como parte del tratamiento interno por tener un sistema de pretratamiento contra la dureza. Su accionar no se limita a neutralizar sus componentes, sino corrige el efecto de otras que no retiene ningún filtro.

El equipo de tratamiento externo, tiene como limitante, la saturación de sus resinas, por el intercambio; cuando sucede, el calcio y magnesio, tienen vía libre hacia la caldera y ante la ausencia del anti-incrustante, el riesgo de incrustación aumenta.

Otra forma de eliminar incrustaciones provocadas por turbulencia al realizar las purgas de fondo y superficie, es llevarlas a cabo con una secuencia que se presenta en la figura 11 del apéndice.

Las figuras uno y dos del apéndice muestran calderas incrustadas, la figura tres una incrustación incipiente.

## **2.2 Corrosión**

Es un ataque químico al metal de la caldera, lo debilita hasta convertirlo en un óxido.

### **2.2.1 Velocidad de corrosión y causas**

Depende de las siguientes condiciones:

- Formación de un área aniónica
- Formación de un área catódica
- Establecimiento de un medio electrolítico para transferencia de cargas.

Los factores que causan la corrosión, son:

- Inapropiada dosificación de productos químicos
- Baja relación pH/alcalinidad
- Presencia de oxígeno disuelto
- Alto contenido de sólidos disueltos
- Alto contenido de material suspendido
- Presencia de dióxido de carbono y otros gases disueltos

La forma más común de corrosión es el ataque al acero por el oxígeno, acelerado por las altas temperaturas y pH bajo. Ingresa al agua de alimentación cuando la caldera opera a baja carga y en la puesta en marcha. Produce un ataque de picado en el metal (ataque en zona localizada) y óxido de hierro al unirse al metal de la caldera.

La acidez o alcalinidad del agua, gobernada por el pH es otra causa de corrosión. Un pH igual a siete crea una condición neutra, con un valor menor se considera ácida y existe corrosión por acidez. Cuando el pH es superior a siete (mayor de doce) es alcalina; este valor es crítico y ocurre corrosión por fragilidad cáustica.

Un medio electrolítico (interacción de cargas eléctricas opuestas), causa corrosión, el total de sólidos disueltos conformado por impurezas con cargas eléctricas negativas, reaccionan con el hierro de la caldera que tiene carga positiva. Un adecuado régimen de purga, reduce el riesgo de corrosión por sólidos altos.

### **2.2.2 Otros tipos de corrosión**

La fragilidad cáustica de los tubos, un tipo de corrosión ocasionado al sobrepasar el valor de pH de su límite máximo (12.0), se manifiesta en forma de grietas en los bordes de las planchas remachadas, remaches y porción metálica situada alrededor de aberturas donde el material ha sido sometido a grandes esfuerzos de tracción durante su fabricación. Como consecuencia ocurre la fatiga de corrosión, producida por el ataque químico y por repetitivos alargamientos de las partes metálicas, origina grietas, según líneas de esfuerzo independientes de las zonas limítrofes cristalinas de metal.

Las incrustaciones son peligrosas no sólo por la obstrucción del paso del calor, sino por el sobrecalentamiento generado en los tubos bajo las capas. Este produce corrosión y es visible al momento de tener un proceso de desincrustación, físicamente se observa como una coloración rojiza a lo largo de todo el tubo.

Un proceso de desincrustación rápido consta de un estudio, aplicación, monitoreo y control total del desincrustante aplicado, en cuanto a tiempo de trabajo, dosificaciones y concentraciones; de lo contrario se incurre en corrosión por acidez, que disolverá la incrustación y al momento de llegar al metal de los tubos los atacará con la misma agresividad, hasta el punto de la picadura.

### **2.2.3 Daños mecánicos causados por corrosión**

La reacción del hierro de la caldera y el agua se acelera con el oxígeno, los óxidos ferrosos de forma localizada origina poros en el metal.

El oxígeno reacciona con el hidrógeno permitiendo la disolución gradual de más hierro. Las picaduras son acusadas en zonas sometidas a esfuerzos durante la fabricación de la caldera, tales como las soldaduras, secciones trabajadas en frío o discontinuidades del metal.

Las figuras cuatro y cinco del apéndice muestran calderas con daños por corrosión.



#### **2.2.4 Protección y prevención contra la corrosión**

La mejor forma de protección es eliminar las causas de la corrosión. La adición de un secuestrante en el tratamiento del agua, mantiene libre de oxígeno el área de transferencia de calor, que por reacción lo precipita y expulsa en la purga.

Una de las funciones del tratamiento interno es mantener un pH alcalino (10.5 – 12.0) a través de alcalinizantes. Un valor dentro del rango establecido, mantiene las condiciones óptimas contra la corrosión y el desempeño de los ingredientes.

La cantidad de sólidos disueltos permisibles dentro de una caldera está en función de la presión de trabajo, teniendo un máximo de tres mil quinientos ppm, sobrepasando este valor corre el riesgo de corrosión por celda electrolítica.

Un adecuado régimen de purga mantiene control en los sólidos, es directamente proporcional a la cantidad de la medición, en otras palabras, a mayor cantidad de sólidos, mayor cantidad de purgas.

Los ciclos de concentración para determinar las purgas, no son un buen indicador.

**Tabla III. Interpretación de los ciclos de concentración**

<b>INDUSTRIA</b>	<b>Total sólidos disueltos, agua de alimentación</b>	<b>Total sólidos dentro de la caldera</b>	<b>Determinación de ciclos de concentración</b>
Caldera A	500 ppm	2500 ppm	$2500/500 = 5$
Caldera B	1000 ppm	5000 ppm	$5000/1000 = 5$

Las purgas en función de los ciclos de concentración: para cinco ciclos de concentración, se aplica un número igual de purgas en dos calderas con aguas de distinta calidad.

Se observa que el total de sólidos disueltos es distinto con los mismos ciclos, la caldera B con sólidos de cinco mil ppm necesita un régimen de purgado más frecuente que la caldera con dos mil quinientos ppm.

## 2.3 Otros problemas

### 2.3.1 Arrastres y su prevención

El arrastre de agua y materias minerales por el vapor, es causado por tres fenómenos:

- la espuma
- el arrastre del agua propiamente dicho
- el arrastre de agua por el vapor

En el primero de los casos las burbujas estallan unas después de otras liberando las gotículas de líquido, en el segundo las burbujas de vapor ascienden directamente a la superficie arrastrando vesículas de líquido que se liberan. El más grave de los fenómenos es el arrastre del agua por el vapor, en particular si el vapor se utiliza para producir energía, dado que provoca accidentes mecánicos en las turbinas.

Un nivel de agua por encima de las superficies de calentamiento, presión de marcha excesiva, gran velocidad de salida del balón de vapor, demanda excesiva de vapor, son factores que favorecen al arrastre. *“Las partículas grandes favorecen la formación de espuma y en consecuencia de arrastre; sales disueltas y sosa libre” (Germain, L; Colas, L; Rouquet, J. 1982:30).*

El arrastre es peligroso al detenerse en las turbinas para producir fuerza motriz, cuando el vapor no permanece en estado de saturación genera sobre las paredes un depósito sólido que disminuye el rendimiento calorífico y provoca una peligrosa elevación de la temperatura del acero.

El sólido en las válvulas de admisión o sobre las paletas de las turbinas, es causa de diversos incidentes: descensos en la producción, en el rendimiento, corrosiones, desequilibrios e incluso conducir a la inutilización de las turbinas.

Los sólidos disueltos a una concentración alta producen arrastre, lo que implica no forzar o sobrealimentar una caldera. Mantener niveles adecuados de agua, seguir adecuadamente los procedimientos de purga y evitar las aperturas repentinas de válvulas reguladoras del vapor que usa la maquinaria (turbinas, motores), reducen el arrastre.

### **2.3.2 Ataque cáustico y su control**

Es riesgosa una rotura intercrystalina y más pronunciada cuanto más fuerte sean las tensiones mecánicas soportadas por el metal. Su causa es el exceso de sosa cáustica presente o un valor de pH encima de 12.0.

Su limitante es la presión, si no excede de 580 psi, no se manifiesta. Para su control se exigen valores de pH entre 10.5 – 12.0.

### **2.3.3 Corrosión en tuberías de vapor y su prevención**

El oxígeno, ácido carbónico y dióxido de carbono son los agentes promotores de este ataque, el sistema de retorno de condensado es clarificador para muestreo y monitorización del rendimiento del tratamiento total. La cantidad de contaminantes hallados y su naturaleza señalan las disfunciones y sugieren las acciones correctoras en el sistema. Los niveles previsibles de contaminantes dependen del diseño de la caldera, presiones de trabajo y de la utilización del vapor.

La forma de prevenirla en la tubería de vapor es no crear condiciones que generen dióxido de carbono ni ácido carbónico. Un valor de pH adecuado, y el máximo rendimiento del secuestrante de oxígeno bloquean la corrosión.

### **2.3.4 Control del oxígeno disuelto**

El oxígeno por sí solo corroe; existe otro ataque donde no se une al metal directamente, sino que ayuda a otros elementos corrosivos a reaccionar o acelerar la reacción. Produce hidróxido ferroso, al unirse con el hidrógeno.

Su control radica en el tratamiento interno, eliminar todo el oxígeno que ingrese a las unidades mediante la aplicación de un secuestrante, que por reacción produzca compuestos que sean evacuados con la purga.

### **2.3.5 Como distorsionar los cristales depositados (desincrustación)**

El detener una caldera inesperadamente, por inspección o para proceder a la desincrustación, genera pérdidas, y más aún cuando se cuenta con una sola unidad de generación de vapor. Existen tres procedimientos para llevar a cabo este proceso:

El primero, **la desincrustación mecánica**, consiste en eliminar los depósitos incrustantes con elementos afilados, o discos para pulir, los que entran en contacto constantemente contra el sarro de los tubos. Este procedimiento provoca desgaste mecánico en la tubería y reduce sus propiedades de soportar altas temperaturas y presiones para las que fueron diseñados.

**La desincrustación con ácidos** fuertes, proceso que implica control y estructura estequiométrica, requiere amortiguadores que limiten el ataque a las incrustaciones y proteja el metal. Un análisis del depósito incrustante indica los de origen mineral como la sílice, u orgánico, que son indiferentes a los ácidos. Finalmente proceder a la neutralización con un agente alcalino.

El desecho de las soluciones ácidas, como los amortiguadores son tóxicos.

El tercer procedimiento, **la mejor forma de desincrustación, es de manera lenta**, en otras palabras, con la caldera en operación, no daña el metal, protege las áreas en donde se ha ido removiendo el sarro de nuevas incrustaciones y de ataques corrosivos.

Bajo la capa de incrustación a remover, actúan temperaturas extremas, generando corrosión por sobrecalentamiento. El régimen de purga es estricto, para eliminar y evitar taponamientos en los conductos.

La figura seis del apéndice, muestra una caldera con un proceso de desincrustación.





### **3. PROGRAMA PARA TRATAMIENTO INTERNO DE CALDERAS**

#### 3.1 Finalidad de los tratamientos para calderas

La adición de ingredientes químicos al agua de calderas como tratamiento interno diario, no consiste solamente en dosificarlos y purgar la unidad, un buen programa de tratamiento abarca más.

El producto químico combinado con un programa de dosificación, control y monitoreo, asegura:

- una adecuada protección al circuito de vapor con un óptimo rendimiento operativo,
- mantener los parámetros dentro del rango correspondiente, con el objeto de incrementar la vida útil de las unidades.

El mantenimiento programado a las unidades generadoras de vapor que han recibido tratamientos efectivos, consistirá únicamente en ajustes mecánicos y eléctricos, limpieza del hollín, cambio de empaques en tapaderas para inspección visual del lado del agua, y una ligera limpieza con bombas de agua para el banco de tubos y espejos, éstos últimos deben presentarse libres de depósitos incrustantes, ataques corrosivos o de cualquier material indeseado que interfiera con la transferencia de calor.

Una superficie de intercambio bien tratada representa minimizar el costo de mantenimiento por avería, por corrección, horas extras, reducir tiempos muertos que impiden la programación de producción, ventajas que al final se convierten en beneficios para la empresa.

El costo por falla total, o parcial de los tubos, es exageradamente mas alto comparado con el costo mensual de un programa de tratamiento del agua. El valor de éstas unidades nuevas (calderas), dependiendo de los requerimientos de: presión, temperatura, variaciones de carga y sistemas de combustión, van desde \$ 2,000.00 hasta 500 mil dólares o más.

Los gastos de mantenimientos programados oscilan entre: Q5, 000.00 a Q50, 000.00 por servicio, (adicionado el costo de los tubos que se tengan que sustituir), algunas empresas planifican semestral o trimestralmente cada uno. El valor en un año de tratamiento por medio de productos químicos al agua, será mucho más barato, y se prolonga la vida útil, la producción no es interrumpida, satisfaciendo sin holgura las demandas.

### 3.2 Estudio de las propiedades del agua del pozo

Para que el tratamiento sea funcional, se precisa una información detallada sobre la calidad del agua disponible que alimentará la caldera, ésta gobierna el tipo adecuado.

Cada caso en una industria determinada se considera individualmente, en respuesta a las propiedades del agua, quiere decir, que en un área cercana a volcanes, el arrastre de minerales se acrecenta, en aguas de la costa sur la concentración de cloruros es alta por su cercanía al mar. La variación en la calidad de agua es apreciable en dos calderas de la misma empresa alimentada con pozos distintos.

Antes de definir el tratamiento, se analizan los siguientes parámetros:

- Dureza del agua: expresada en partes por millón (ppm) de Carbonato de Calcio, compuesta por Calcio, Magnesio, Bario Estroncio y Hierro (<sup>+1</sup> y <sup>+2</sup>)

Tabla III. Clasificación de la dureza por la ASTM

1 – 60	ppm	Agua suave
61 – 120	ppm	Moderadamente dura
121 – 180	ppm	Dura
> 180	ppm	Agua muy dura

Fuente: Rodríguez Guerrero Gonzalo 2000:188

El valor de éste parámetro determina la dosificación del secuestrante.

- Valor de acidez o alcalinidad (pH)

Tabla IV Rango de acidez o alcalinidad

0 – 6.99	Rango ácido
7	Valor neutro
7.01 - 14	Rango alcalino
10.5 - 12	Rango recomendable en calderas
13 - 14	Rango muy alcalino

Se hace la medición, con el objeto de agregar la cantidad correcta de alcalinizante para llevar el pH del valor hallado al que se requiere dentro de la caldera, sin sobrepasarlo o quedar bajo el límite inferior permisible. El valor promedio del agua de pozo en la industria oscila entre 6.5 – 7.5.

- Total de Sólidos Disueltos

Cantidad de materia disuelta compuesta por carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, y nitratos, que deben ser dispersadas e inhibidas para formar el mínimo de lodos y depósitos.

- Hierro

Su análisis rige la forma que presenta en las aguas naturales y cómo puede atacar a la caldera, su estabilidad depende del valor de pH y de la calidad del secuestrante de dureza, siendo un componente de ésta.

- Sílice

Las aguas naturales contienen menos de 100 ppm, dependiendo del valor presente, se fortalecerá el anti-incrustante como control para éste parámetro.

El estudio de las propiedades del agua del pozo tiene la finalidad de planificar la calidad y cantidad de los productos químicos que serán dosificados en el tratamiento interno del agua.

### **3.3 Estudio de las condiciones actuales y de operación de la caldera**

Las condiciones de operación de una caldera determinan el tratamiento adecuado, conformadas por el circuito completo de generación de vapor, se describen las siguientes:

- Presión de trabajo
- Horas de trabajo diario
- Presencia o ausencia de unidades de tratamiento externo (suavizadores, des-silisadores, desmineralizadores, desaireadores, desgasificadores)
- Aplicación del vapor
- Existencia o no de retorno de condensado
- Caballaje de la caldera en HP (Horse Power)

Los diferentes valores en presión de diseño para calderas, inciden en los rangos permisibles de algunos de los parámetros a medirse y para lograr adecuarlos a las necesidades, los cambios en las dosificaciones se hacen presentes. Determinar el valor de la presión como una de las condiciones de operación es imprescindible antes de recomendar un tratamiento, a mayor presión de trabajo, mas riesgo de corrosión cáustica, esto ocurre al metal que está sometido a gran tensión en altas temperaturas. La variación de rangos es inversamente proporcional a la presión.

Cada industria tiene requerimientos específicos de vapor, por lo que su caldera trabaja con tiempo variable, esta condición tiene como consecuencia que el consumo de químico sea distinta para todos los casos, dicho de otra forma, a menor tiempo de trabajo de la caldera menor consumo de productos.

El desempeño de las unidades de tratamiento externo es afectado por la saturación de las impurezas que eliminan del agua, desperfectos mecánicos o simplemente por desatención de sus operadores; cuando esto ocurre, su rendimiento es nulo, eso significa, que la máquina no trabaja.

El agua dentro de la caldera requiere tener siempre los ingredientes activos que mantengan en rangos los parámetros, los tratamientos externos, pueden fallar en momentos inesperados y si no existe un adecuado tratamiento umbral, se corre el riesgo de graves problemas.

No todas las calderas generan vapor, existen algunas que únicamente llevan el agua a una temperatura que no es la de ebullición, afectando el control en los rangos. La dosificación de productos químicos hay que redefinirla, a fin de mantener las condiciones requeridas en cada caso.

El retorno de condensado produce problemas en el agua, ya que puede tener productos corrosivos de la tubería de vapor; forman depósitos altamente aislantes en las superficies de la caldera. El control de los principales agentes corrosivos del vapor, es una función de la regulación del pH.

HP es una medida de la capacidad o tamaño de una caldera, se define 1 HP como 0.92 m<sup>2</sup> de superficie de transferencia de calor; a mayor HP de potencia, mayor será su superficie de caldeo, y por lo tanto mayor el consumo de agentes activos para proteger el área.

### **3.3.1 Calderas Incrustadas**

La mejor manera de tratar una caldera en este estado, es por medio de un des-incrustante. En operación, o sea, con la máquina en marcha, es un proceso lento, al estar gobernado por áreas resultantes libres de depósitos en remoción.

Incrementar el régimen de purgado por acumulación de las capas incrustantes desprendidas, precipitan en la parte inferior de la caldera que encuentran en la purga una única vía de salida; esto implica accionar todas las válvulas para evitar taponamientos.

Los lavados periódicos son necesarios cuando está bajo un proceso de des-incrustación, ayuda no solo a evacuar constantemente los residuos incrustantes sino monitorea el tratamiento. La periodicidad de los lavados depende de los requerimientos de operación. *“Las calderas de tubos de agua son las más difíciles de desincrustar y exigen las purgas con mayor frecuencia que las de cuerpo cilíndrico, siendo las ventajas del tratamiento del agua tanto mayores cuanto más restringido sean los espacios de agua de la caldera”* (E. Pull. 1977:100)

### **3.3.2 Calderas No Incrustadas**

Referente a calderas nuevas o con tubos totalmente limpios, en los que los problemas generados por el agua son:

- La formación de incrustaciones
- La corrosión y oxidación dentro de la caldera
- Corrosión de tuberías de vapor y condensado
- Arrastres

Los ingredientes requeridos para su neutralización son:

- Secuestrante de Dureza
- Secuestrante de oxígeno
- Alcalinizante

La tabla V del apéndice presenta variables, daños y tratamiento-función del agua en calderas.



El alcalinizante incrementa la eficiencia del secuestrante de dureza y evita la formación de ácido carbónico, generador de corrosión.

La diferencia en los tratamientos de calderas incrustadas y no incrustadas, es la adición del des-incrustante, para caldera en marcha, hacerlo con el límite superior de los rangos.

### **3.3.3 Calderas de alta y baja presión**

El tratamiento para el agua de calderas como acondicionamiento, sufre variación con respecto al valor de su presión de trabajo. Algunos parámetros exigen reducir su rango permisible a medida que la presión de trabajo asciende, tal es el caso de la sílice, que es necesario controlar su concentración en calderas de alta presión, es el más firme, tenaz y difícil de eliminar de todos los minerales disueltos, apta para transportarse con el vapor.

Los depósitos de sílice semejantes a los del vidrio, inhiben la transferencia térmica provocando quemaduras de tubo, y cuando se deposita sobre los alabes de turbinas se reduce la eficiencia, provocando un desequilibrio del rotor, ocasionando paradas prematuras y costosas.

El anexo 2 presenta la tabla IX de rangos permisibles en parámetros según la presión de trabajo. Anexo 3 con figuras 9 y 10 muestra calderas de alta y baja presión.

### **3.4 Determinación del tipo de tratamiento al agua de alimentación**

La calidad del agua del pozo que va alimentar la caldera, necesita regular los agentes activos para estandarizar las variables. La tabla VI del apéndice contiene productos y mecanismos de acción para el tratamiento.

La cantidad requerida de productos químicos está gobernada por:

- Tamaño de la caldera (en HP)
- Horas de trabajo diario
- Presión de trabajo de la caldera
- Producción de vapor/hora
- Porcentaje en retorno de condensado
- Concentración de parámetros químicos en el agua de aporte (dureza, alcalinidad, sílice, hierro cloruros, pH y Total de Sólidos Disueltos)

Las calderas de acuerdo a su tamaño, tienen mayor capacidad de almacenar agua, por lo tanto, necesitarán más cantidad de productos que logren mantener condiciones adecuadas.

Un porcentaje alto de retorno de condensado genera mejor calidad en el agua al mezclarse con el agua de aporte, la dosificación tendrá variantes para la estabilización de parámetros.

El horario de trabajo de una caldera regula el consumo de productos en dosificación, una operación de 24 horas gasta mayor cantidad que un proceso de 10 o 12 horas/día, en producción de vapor.

La concentración de contaminantes del agua que va alimentar la caldera es factor indispensable de medición, para cuantificar las cantidades de ingredientes activos que neutralizarán los efectos de las impurezas y no sobre dosificar causando daños.

### **3.5 Control de Rangos de los Parámetros**

#### **3.5.1 Acidez o alcalinidad del agua (pH)**

Rango permisible: 10.5 – 12.0; para todo tipo de calderas generadoras de vapor. Su estabilidad depende de la dosificación del alcalinizante y del adecuado régimen de purgado, o sea, con las purgas reducir la concentración.

#### **3.5.2 Variantes en el régimen de purga**

El parámetro que gobierna la variación de la purga es el Total de Sólidos Disueltos, (carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos), con un máximo permisible de 3500 ppm en función de la presión de trabajo. A mayor cantidad de sólidos disueltos, incrementar el purgado.

El régimen de purgado se maximiza con una secuencia: de arriba hacia abajo, purgando primero la superficie (el nivel de agua ó Mc donell, nivel de agua auxiliar, columna de nivel de vidrio) eso evita que las impurezas que se encuentran entre la cámara de vapor y el agua sean evacuadas antes de precipitar. Luego purgar las válvulas fondo.

El procedimiento es abrir las llaves lentamente para evitar el golpe de ariete y la rotura de tubería, cerrarlas de igual manera para no generar turbulencia en el fondo de la caldera y depositar los lodos en las partes superiores de la unidad. Ver figura 11 del apéndice.

La lectura en los controles de la caldera es fundamental para su operación. Una bitácora que refleje los datos obtenidos en cada hora de purga complementa el mantenimiento preventivo de la unidad, en ella se anota con antelación cualquier rango de temperatura o presión de combustible, temperatura de agua de alimentación o gases de chimenea que sean objeto de inspección, ver anexo 10.

Las purgas de superficie evitan taponamientos y desinformación a la orden de aporte de agua nueva a la caldera, que causan problemas graves como explosiones.

### **3.5.3 Valor de la Dureza**

Cero ppm como Carbonato de Calcio es el valor único aceptado en el agua de cualquier caldera, sin importar su clasificación, ya que de este valor depende la formación de incrustaciones. Un valor distinto de cero indica deficiencia del secuestrante, generando efectos dañinos en la unidad.

### **3.5.4 Presencia de Sílice y Hierro**

Su control no se limita únicamente a calderas de alta presión, en la práctica se han encontrado incrustaciones de sílice en calderas de baja presión. Máximo valor aceptado 120 ppm.

Al airear el agua, el hierro precipita a hidróxido férrico color pardo-rojizo, aguas con pH ácido contienen varias decenas de ppm de hierro. Regulando la alcalinidad y una acción efectiva del secuestrante de dureza se adsorben. Es importante la prevención de problemas derivados de éstos dos minerales, con un valor de pH ideal (10.5 – 12.0).

El anexo 4 presenta una hoja de análisis de agua para calderas, con límites permisibles para sus parámetros. El apéndice, figura 7 presenta una caldera con un acertado tratamiento del agua.

### **3.5.5 Cloruros**

Suelen encontrarse en aguas naturales entre 10 y 200 ppm, en el mar existen hasta 20,000 ppm. Un contenido mayor a 300 ppm crea condiciones corrosivas por acidez, adquiriendo un sabor salado, el régimen de purga mantiene la concentración permisible.

### 3.5.6 Alcalinidad Hidróxidos (OH)

La da el alcalinizante, además se forma dentro de la caldera por el calor que descompone los carbonatos y bicarbonatos aumentando la causticidad del agua, neutraliza ácidos. Límite máximo permisible 500 ppm controlada por medio de purgas y dosificación de alcalinizante. *“Suficiente cáustica libre mantiene la sílice en forma soluble” (Rodríguez Guerrero Gonzalo, 2000:180).*

### 3.5.7 Alcalinidad total

Conformada por carbonatos y bicarbonatos que al concentrarse generan un grado alcalino capaz de dañar los tubos por fragilidad cáustica, un valor menor al mínimo en el rango de 700 – 800 ppm controlado con el purgado, produce corrosión por acidez.

### 3.5.7 Ingredientes activos

Los rangos permisibles son los siguientes:

Secuestrante de oxígeno	20 -- 40 ppm	como $\text{SO}_3$
Secuestrante de dureza	30 – 40 ppm	como $\text{PO}_4$

La variedad de productos utilizables se describen en la tabla VI del apéndice.

## **4. PROBLEMAS EN CIRCUITOS DE REFRIGERACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA**

En la mayoría de industrias, el agua es un medio de enfriamiento, por su disponibilidad en las zonas industriales y por el calor específico elevado. Normalmente no entra en contacto directo con el sistema enfriado, el intercambio se realiza a través de una pared, generalmente metálica, buena conductora de calor.

El transporte de calor es afectado por las incrustaciones que disminuyen la velocidad de transferencia, por corrosión y por actividad microbiológica. Los tratamientos con productos químicos, raramente bastan para evitar los problemas descritos, no son efectivos si no van acompañados de una limpieza física de las instalaciones.

### **4.1 Incrustaciones**

#### **4.1.1 Causas**

Las sales de calcio y magnesio precipitadas son preocupantes por su adherencia y efecto aislante. El calcio y el bicarbonato están presentes en todas las aguas y la adición de calor descompone el bicarbonato en carbonato, el más común de los depósitos.

Cuando parte del agua de refrigeración se evapora, los sólidos totales quedan retenidos en la fase acuosa, al aumentar la concentración, las sales disueltas alcanzan su límite de solubilidad y precipitan. En circuitos abiertos el aire que impacta al agua arrastra impurezas que se suman a las propias.

Una sobredosificación de productos químicos, provoca depósitos indeseados, la corrosión, en general óxidos de hierro, forma incrustaciones, los inhibidores de la corrosión hacen su contribución por fallo.

Otra causa de depósitos es el crecimiento microbiológico.

#### **4.1.2 Daños mecánicos producidos por incrustaciones**

La estructura física de las incrustaciones en las redes de refrigeración difiere con las de las calderas, pero provocan los mismos problemas de intercambio térmico, eso significa: pérdidas de eficiencia, menor vida útil de las partes metálicas dañadas, presencia de partículas en suspensión que genera la obstrucción en los circuitos dificultando la circulación del agua; en una situación crítica, detener las unidades que exigen un desmontaje costoso.

El término incrustación en su acepción industrial, se refiere a cualquier depósito sobre las superficies de los equipos, formado por componentes inorgánicos.

Los depósitos menos adherentes se conocen como lodos, sedimentos y precipitados, se han formado en el lugar que se encuentran, o en otros puntos del sistema y son transportados.



Los problemas derivados de las incrustaciones son:

- reducción del diámetro de las tuberías
- disminución de la transferencia de calor
- origen de corrosiones localizadas
- aumento de los costos de mantenimiento

La desincrustación mecánica de las superficies de intercambio, genera daños severos, como:

- pérdida de las propiedades mecánicas de las tuberías, resistencia a soportar temperaturas y presiones
- desbalance cuando son golpeados con objetos afilados

La figura ocho del apéndice muestra un condensador con daños por incrustación.

#### **4.1.3 Acondicionamiento antincrustante**

El índice de Langelier o Saturación es el más utilizado al evaluar la capacidad potencial de causar depósitos incrustantes. Un desequilibrio en el índice crea las condiciones ideales para su formación.

Existen distintos métodos de control para prevenirlas, el uso de agentes dispersantes precipita las partículas en suspensión a la purga, quelantes y secuestrantes, evitan el comportamiento normal de algunos cationes como el calcio, hierro, manganeso y el aluminio; los estabilizadores de depósitos actúan como antincrustantes y secuestrantes de los óxidos metálicos.

#### **4.1.4 Control de la incrustación**

El control de incrustaciones en circuitos de refrigeración es gobernado por el monitoreo de los rangos del índice de saturación. El valor ideal de este es cero, ligeramente mayor es una condición aceptable.

## **4.2 Corrosión**

### **4.2.1 Causas**

El fenómeno de corrosión se define como la destrucción o degeneración de un material por reacción química o electroquímica con su entorno. En algunos casos el ataque químico va acompañado de ataque físico generando corrosión-erosión.

Los productos de la corrosión son óxidos más o menos hidratados, carbonatos y sulfuros.

Los problemas causados por la corrosión son económicamente importantes, las interrupciones en los procesos de producción tienen costes muy elevados y el factor seguridad viene directamente afectado.

Mantener bajo control los parámetros que intervienen en el cálculo del Índice de Saturación, garantiza que las superficies metálicas están libres de ataques corrosivos. Un valor negativo en el índice crea condiciones para la corrosión.

Los factores desencadenantes de la corrosión son:

- Oxígeno
- Anhídrido carbónico
- Sales disueltas
- Organismos vivos

La aireación, liberando dióxido de carbono en un agua bicarbonatada, la hace agresiva. Las sales corrosivas más abundantes son los cloruros, existen circuitos de acero inoxidable destruidos en seis meses por agua fría con un gramo de cloruro de sodio por litro.

Los organismos vivos, favorecen la formación de pilas de aireación, y el accionar de su propio metabolismo, provoca corrosión.

#### **4.2.2 Acondicionamiento anticorrosivo**

Los inhibidores de corrosión se clasifican según la reacción que controlen, como anódicos, catódicos y mixtos. Atendiendo el mecanismo de actuación reaccionan con el agente corrosivo para formar una película protectora, o propiciar la formación de una película de óxido del propio metal que se intenta proteger.

La inhibición normalmente es el resultado de uno o varios de los mecanismos generales. En el primero la molécula del inhibidor es adsorbida sobre la superficie del metal, formando una delgada película protectora, por si solo o en conjunción con iones metálicos.

En el segundo mecanismo, los inhibidores simplemente obligan al metal a formar su propia protección de óxidos metálicos, aumentando su resistencia.

En el tercero el inhibidor reacciona con las sustancias potencialmente corrosivas del agua.

La selección se realiza atendiendo al tipo de instalación, metales y elementos estructurales de construcción, variables de diseño y calidad del agua de alimentación.

Tanto los inhibidores de corrosión como los de incrustación (tabla VII del apéndice) acostumbran ser compuestos formulados con múltiples materias activas de forma que minimice su consumo a la vez de potenciar el rendimiento.

#### **4.2.3 Control de la corrosión**

La selección y dosificación de agentes inhibidores de corrosión para mantener el índice de saturación en valores cercanos a cero al añadirse en forma continua, garantiza que los circuitos de refrigeración no presenten daños a causa de éste fenómeno e incrementen su eficiencia.

## **4.3 Reproducción de micro-organismos**

### **4.3.1 Causas**

Los fenómenos de contaminación biológica se aprecian fundamentalmente en los sistemas de refrigeración, éstos proporcionan un medio favorable para su desarrollo, especialmente bacterias, y algas.

En los sistemas de recirculación, existen condiciones ideales de incubación y se promueve el crecimiento de microorganismos. Normalmente en ellos el agua está saturada de oxígeno, expuesta a la luz solar, con una temperatura que oscila entre treinta y sesenta grados centígrados, con un pH entre seis y nueve, lo que asegura nutrientes abundantes y un entorno apropiado para el mantenimiento de la vida microbiana. Es un hecho natural en los sistemas de recirculación de agua no tratados.

Los efectos del crecimiento microbiano, interfieren en el flujo de agua que circula por los intercambiadores de calor y en las conducciones, con lo que se dificulta la transferencia e incentiva la corrosión o el deterioro de los sistemas.

Una de las fuentes más importantes de contaminación biológica es el abastecimiento del agua de aporte al sistema. Las torres de refrigeración, actúan como grandes limpiadoras del aire, el agua que captura polvo, microorganismos y otros residuos, cambia sus características. Otra causa es la fuga de fluidos del proceso que aportan nutrientes para la alimentación de los microorganismos.

Cualquier depósito, de todo tipo, como la suciedad facilita la proliferación de organismos vivos.

La acumulación de microorganismos forma lodos, que por su naturaleza adherente actúa para cimentación de otros materiales inorgánicos, como los productos de corrosión. El crecimiento biológico puede producir corrosiones graves en el metal e incluso perforaciones.

Los cúmulos se forman en canalizaciones y en los aparatos, estos organismos son arrastrados por la corriente y están condicionados por distintos factores:

- La composición del medio,
- Presencia de materia orgánica y de nutrientes (fósforo, nitrógeno)
- Temperatura
- La estación, se desarrollan más en períodos cálidos
- El pH
- La luz

### **4.3.2 Acondicionamiento biocida**

Los tratamientos en circuitos industriales se efectúan de manera periódica, por adición de dosis relativamente altas de biocidas. Los tratamientos continuos, provocan una costumbre en los organismos vivos, quiere decir, que pierden su vulnerabilidad y se vuelven altamente resistentes, por consiguiente una ineficacia total.

### **4.3.3 Control biocida**

El mejor sistema para controlar la población de microorganismos es la dosificación de biocidas en los circuitos de refrigeración. Hay muchos tipos, los más utilizados se dividen en dos grandes grupos: los oxidantes y los no oxidantes. En función del tipo de instalación y de la contaminación biológica presente, se utiliza un tipo de biocida u otro. En cada caso concreto realizar un estudio para determinar el mejor tratamiento posible.

**Los biocidas oxidantes**, tal y como indica su nombre oxidan la materia orgánica (material celular, enzimas, proteínas), y por consiguiente produce la muerte de los microorganismos. Los más habituales son el cloro, el bromo, y sus derivados.

En el caso del cloro y sus derivados, se forman enlaces estables entre el nitrógeno de las proteínas y el cloro, llevando a la destrucción de los microorganismos. Este tipo de biocida causa un efecto secundario sobre las instalaciones tratadas, pues, incentiva la corrosión. Además su actividad desinfectante tiene una dependencia con el pH.

La presencia de grandes cantidades de materia orgánica y de amoníaco en el agua, conlleva problemas en el control de la contaminación biológica con este tipo de biocidas.

**Los biocidas no oxidantes** interfieren en el metabolismo celular y/o en su estructura, dejando sin vida a los microorganismos. Existen muchos tipos de biocidas no oxidantes pero en general todos cumplen los siguientes requisitos: son más estables y persistentes que los biocidas oxidantes y su actividad es independiente del pH.

Cada biocida tiene su mecanismo de acción, no se puede generalizar un mecanismo para todo el grupo.

Los microorganismos son capaces de desarrollar formas resistentes a un medio determinado, es preciso revisar periódicamente el programa utilizado. Dada la variedad de especies es difícil que un solo tipo de biocida pueda actuar sobre todas las especies y se recurre a combinaciones que demuestren un efecto positivo.



## **5. PROGRAMA PARA TRATAMIENTO EN TORRES DE ENFRIAMIENTO Y CONDENSADORES**

### **5.1 Finalidad de los tratamientos**

El examen de organismos en el sistema y problemas creados, determina la planificación efectiva para el control de la población microbiana. Cada grupo de microorganismos tiene un ambiente preferido y se desarrolla en áreas específicas. Su ubicación y aspecto indican con acierto, de qué tipo se trata.

Un tratamiento óptimo es consecuencia del control de los rangos, adición de productos químicos, limpiezas físicas y las medidas de prevención en los circuitos de refrigeración, se ejecutan simultáneamente para evitar la incrustación, la corrosión y el crecimiento microbiológico.

Los resultados se maximizan cuando la instalación se mantiene limpia, la limpieza física es recomendable en sistemas tratados adecuadamente para aumentar la eficiencia de los productos dosificados. La aparición de algas, hongos, protozoos, suciedad y biocapas de microorganismos implica una demanda superior de biocida y dificulta el contacto entre éste y los microorganismos a tratar.

“El tratamiento químico se aplicará normalmente a niveles bajos para que resulte económicamente viable sin intentar reducir al 100% la corrosión potencial del agua bruta” (*Rigola Lapeña Miguel. 1999:119*).

El diseño de una torre involucra el acceso para la limpieza del circuito. El anexo cinco, presenta un esquema de una torre de refrigeración. La figura ocho del apéndice, muestra un condensador evaporativo.

## **5.2 Estudio de las propiedades del agua del pozo**

La calidad del agua gobierna un tratamiento acertado, el control de concentraciones rige las cantidades a manejar, previas a ingresar y formar parte del circuito.

La alcalinidad del agua, el total de sólidos disueltos, la temperatura, el pH y la dureza son las condiciones a evaluar; el tratamiento obedece a las concentraciones.

La clasificación de la dureza del agua del pozo en blanda, ligeramente dura, y dura, es la misma en los circuitos de refrigeración y calderas. Para el agua de recirculación, (agua tratada), el valor no es necesariamente cero, sino que su interrelación coadyuve a llevar el índice de saturación a cero y no negativo que implique corrosión, o mayor de uno que cause incrustación.

El diseño de circuitos, condiciones de operación, y las aguas de recirculación se manejan a diferentes temperaturas, detectar ese valor es vital en el cálculo del pH de saturación.

### **5.3 Estudio de las condiciones de operación de los sistemas**

El acondicionamiento del agua responde a su naturaleza, características hidráulicas, térmicas del circuito y de los intercambiadores.

#### **5.3.1 Tipos de circuitos**

- Circuitos abiertos
- Circuitos cerrados
- Circuitos herméticos

##### **5.3.1.1 Circuitos abiertos**

O de paso directo, la totalidad del agua es vertida al medio ambiente después de su utilización. Es el caso de todos los circuitos de aguas potables y de algunos circuitos industriales cuando los recursos de agua son ilimitados. El anexo seis muestra el diagrama de un circuito abierto.

### 5.3.1.2 Circuitos cerrados

El agua reciclada es calentada y enfriada alternativamente. Principio de funcionamiento:

1. llega el agua al interior del aparato a enfriar, (en donde se calienta);
2. envío del agua a la parte superior de una torre de refrigeración, en finas gotitas, encuentra una corriente de aire ascendente natural o provocada, según el diseño de la torre. Esto da lugar a una evaporización parcial, cediendo calor.

En todo circuito cerrado, es indispensable la adición de una cierta cantidad de agua, para compensar pérdidas:

1. las pérdidas mecánicas inevitables por retención en la torre, y por alguna fuga en el circuito
2. la evaporación, cuyo volumen es casi proporcional a la cantidad de calor eliminado (alrededor de dos Kg. de agua por término medio) (Germain, L; Bouquet, J. 1982:106)

El anexo siete muestra la figura del circuito.

### **5.3.1.3 Circuitos herméticos**

Enteramente cerrados, la evaporización es nula, las pérdidas son exclusivamente accidentales y no comportan ningún aumento de la salinidad. Ver anexo ocho.

## **5.4 Determinación del tratamiento y dosificación de productos químicos**

Realizar el análisis de la calidad del agua de alimentación y diseño del circuito, con las horas de trabajo y volumen de agua de recirculación.

El tiempo de operación (en horas) de un sistema de enfriamiento, indica en cantidad lo requerido; la relación tiempo-productos, es directamente proporcional.

La adecuada cantidad de productos químicos, representa condiciones óptimas de operación, el volumen de agua en recirculación determina las necesidades, la finalidad es llevar los parámetros: pH, dureza y alcalinidad a valores estables, de tal manera que su interrelación conduzca al índice de saturación a un valor cercano a cero y positivo. Las condiciones del agua serán controladas continuamente mediante análisis.

Langelier definió el pHs, por medio de un gráfico que conjuga la dureza, la salinidad, temperatura y alcalinidad; la buena conducción de un circuito industrial de refrigeración, requiere su cálculo.

Los circuitos abiertos, cerrados y herméticos, difieren en la cantidad de agua de aporte. A mayores pérdidas de agua, mayor es el consumo de productos químicos para mantenerla estable.

El recorrido del medio de enfriamiento bajo tratamiento, es en la parte interna o externa de tuberías, similar a calderas acuatubulares y pirotubulares.

Los circuitos de refrigeración libres de incrustación, corrosión y crecimiento microbiológico, requieren como tratamiento interno continuo:

- Alcalinizantes
- Inhibidores de incrustación
- Inhibidores de corrosión,

y como tratamiento interno sin aplicación diaria

- Biodispersantes y biocidas
- Limpiezas físicas continuas

Los productos químicos para el tratamiento del agua de refrigeración se aprecian en la tabla VII del apéndice.

### **5.4.1 Control con limpiezas físicas**

Todas las instalaciones han de ser sometidas a una limpieza y desinfección general, dos veces al año como mínimo o cuando se den algunas de las siguientes condiciones:

- a)** Previo a su funcionamiento inicial
- b)** Antes del funcionamiento de la instalación luego de holguras, por modificaciones o mantenimiento en general
- c)** Por inspección rutinaria
- d)** Cuando la autoridad sanitaria lo determine

El tratamiento del agua no es efectivo si no va acompañado de una limpieza física. El tratamiento del agua se maximiza cuando la instalación se mantiene limpia.

La limpieza elimina sedimentos. La parte más accesible, la bandeja en las torres de refrigeración la requiere una vez al mes. Al detectar suciedad, algas o biocapas de microorganismos hacerlo antes de este plazo. En condensadores es aplicable cuando exista accesibilidad por diseño.

Drenar el sistema, limpiar con soluciones biodispersantes y con ayuda de biocidas eliminar toda la materia biológica acumulada en las instalaciones.

#### **5.4.2 Desinfección periódica**

Como mínimo dos veces al año, aplicar desinfectantes autorizados, normalmente por hipercloración de todo el sistema. La hipercloración en torres de refrigeración tiene un efecto a corto plazo sobre los microorganismos, vuelven al mes o en días después de la desinfección, implicando tuberías, conducciones o zonas calientes del sistema.

### **5.5 Control de rangos de los parámetros**

#### **5.5.1 Acidez o alcalinidad del agua**

No existe un rango determinado para su control, la estabilidad que se busca en los circuitos de refrigeración es del Índice de Saturación. Por el trabajo de campo realizado, se recomienda no exceder de nueve el valor de pH, es decir, ligeramente alcalino. Una adecuada dosificación del alcalinizante, paralelo al régimen de purga permite la concentración óptima.



### **5.5.2 Variantes en el régimen de purga**

Los circuitos de refrigeración varían en su diseño, algunos, existen provistos de válvulas para purga y otros no, como en calderas, el régimen de purgado condiciona la concentración del total de sólidos disueltos y productos químicos.

En circuitos de refrigeración sin purgas, realizar la limpieza física en las paredes bajas (áreas donde se acumulan las impurezas), para no causar ninguna obstrucción en la tubería y en las máquinas que utilizan el agua como medio de enfriamiento; los que están provistos de válvulas de purga, facilitan la evacuación de impurezas y algas muertas, la limpieza física es tolerada por rangos más extensos.

En ambos casos, mantener la menor cantidad de sólidos concentrados en el agua es esencial, a mayor cantidad de impurezas, mayor régimen de purga.

### **5.5.3 Valor de la dureza**

El valor de la dureza, no es necesariamente cero, si cercano a éste, el secuestrante tiene como función equilibrar la concentración.

#### 5.5.4 Valor del índice de saturación

La tabla del Índice de Saturación determina el equilibrio carbónico en el agua de circulación. En su cálculo intervienen:

- Las temperatura del agua de trabajo
- El pH medido
- La alcalinidad total del agua
- El valor de la dureza
- El total de sólidos disueltos

El índice de saturación viene dado por:

$$I_s = PH - PH_s$$

Donde

$I_s$  = índice de saturación

PH = valor de pH medido directamente al agua de recirculación

$PH_s$  = pH de saturación (dado por las características del agua en relación con la carta del índice de saturación)

$$PH_s = pC_a + Alc "p" + c \text{ (a una temperatura del agua en } ^\circ\text{C)}$$

$pC_a$  = Variable determinada en función del valor de dureza (ver anexo 9)

Alc "p" = Variable de alcalinidad parcial determinada en función de la alcalinidad total "m" (ver anexo 9, Fig. diecinueve)

"c" = Constante determinada en función del total de sólidos disueltos conjugado con la temperatura del agua en cuestión, anexo nueve

Un circuito de refrigeración con las siguientes características en el agua de recirculación, tiene un índice de saturación de +0.14

PARÁMETRO	MEDICIÓN
pH	9
Temperatura del agua	20°C
Valor de dureza	5 ppm como CaCO <sub>3</sub>
Total de sólidos disueltos	500 ppm
Alcalinidad total "m"	275 ppm como CaCO <sub>3</sub>

De la tabla Anexo 9

$$\text{Dureza de 5 ppm} \text{ ----- } pC_a = 4.30$$

$$\text{Alcalinidad m de 275 ppm} \text{ ----- } \text{Alc "p"} = 2.27$$

$$\text{Total sólidos disueltos de 500 ppm} \text{ --- } c = \underline{2.29}$$

$$\text{(a 20°C)} \quad \quad \quad \text{PHs} = \mathbf{8.86}$$

$$I_s = PH - PHs$$

$$I_s = 9 - 8.86 = \text{índice de saturación} = \mathbf{+0.14}$$

Este valor de índice se interpreta de la siguiente manera:

$I_s = 0$  ----- no se genera INCRUSTACIÓN ni CORROSIÓN

$I_s = (+)$  positivo,  $> 1$  existe riesgo de INCRUSTACIÓN  
rango aceptado (0.0 – 1.0)

$I_s = (-)$  negativo, existe CORROSIÓN, pero si es leve disuelve toda incrustación previamente formada.

**$I_s = 0.14$ , valor dentro del rango, no existe riesgo de incrustación y corrosión.**



## 6. MANTENIMIENTO PARA CALDERAS INACTIVAS

En industrias que cuentan con dos o más unidades de generación de vapor, existen paradas largas de operación, las calderas de calefacción en lugares con marcadas condiciones de clima, no trabajan en períodos de hasta seis meses.

El riesgo de corrosión en una caldera inactiva, es mayor, las superficies metálicas están expuestas al oxígeno y humedad.

Existen dos tipos de almacenaje:

- Húmedo
- Seco

El primero, cuando la caldera queda preparada para arranques imprevistos, en otras palabras, períodos no mayores a seis meses. Llenarse con agua tratada hasta que derrame, lleno completo.

El almacenaje seco, para períodos mayores a seis meses, consiste en eliminar toda cantidad de humedad posible, por medio de sustancias que la adsorban. Las tapaderas laterales y agujero de hombre (tapa central) permanecen cerradas herméticamente, como las válvulas de vapor.

El registro de aire y el respiradero, permanecen tapados para evitar el ingreso de oxígeno.

Inspecciones periódicas son necesarias para el reemplazo de las sustancias que adsorben la humedad.

*“El máximo período de funcionamiento sólo puede ser determinado por la observación y por lo que digan los registros documentales del servicio de la caldera. Es conveniente proceder a la limpieza antes de que las planchas se recubran con una incrustación dura de 1.5 mm” (E. Pull. 1977:309)*

## CONCLUSIONES

- 1 Un buen tratamiento de agua de alimentación garantiza una caldera limpia y, como consecuencia, bajos costos de operación y mantenimiento, como lo muestra la figura 7 del apéndice.
- 2 Los problemas asociados en el tratamiento del agua para calderas son la incrustación, corrosión, oxidación, arrastre y fragilidad cáustica. El crecimiento microbiológico, incrustación y corrosión para los circuitos de refrigeración. Las figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 8 del apéndice ilustran los daños a las unidades.
- 3 El control de las impurezas del agua de calderas está gobernado por la adición de secuestrantes de dureza, oxígeno y alcalinizantes.
- 4 Un pH menor a 7 genera corrosión por acidez del agua; mayor de 12.0 ocasiona corrosión por fragilidad cáustica en los tubos.
- 5 Los ciclos de concentración no son un indicativo para determinar el régimen de purgado.
- 6 Un valor superior a 3500 partes por millón de sólidos disueltos ocasiona corrosión en calderas por su tendencia a formar celdas electrolíticas.
- 7 La dureza del agua distinta de cero en calderas es promotora de incrustación.

- 8 Los pretratamientos con suavizadores reducen pero no eliminan los riesgos de daños dentro de los equipos.
- 9 A medida que aumenta la presión de trabajo en calderas de vapor disminuyen los límites permisibles de los parámetros en evaluación.
- 10 Las impurezas del agua de alimentación no dañan únicamente el interior de las calderas. Si no existe un control total, los equipos que utilizan el vapor como medio de trabajo, sufren el mismo efecto.
- 11 Las calderas que no generan vapor sino agua caliente tienen más bajos los rangos de los parámetros, su temperatura y presión de trabajo son menores.
- 12 Las variables de diseño de torres de enfriamiento, incluyen el acceso para limpieza, los tratamientos químicos no son efectivos si no van acompañados de limpiezas físicas periódicas.
- 13 Los requerimientos de un control efectivo en circuitos de refrigeración son de aplicación continua: alcalinizantes, inhibidores de incrustación y corrosión. De aplicación discontinua, o sea, como tratamiento de choque: biodispersantes biocidas y limpiezas físicas.
- 14 El equilibrio carbónico garantiza la protección total en circuitos de refrigeración contra corrosión e incrustación, es determinado por medio del índice de Langelier, su cálculo regula recomendaciones de operación.
- 15 Un incremento en la eficiencia de los circuitos obedece al estado de limpieza de las superficies de intercambio térmico.



## RECOMENDACIONES

- 1 Se debe usar un antincrustante como parte del tratamiento interno aunque exista un sistema de pretratamiento contra la dureza. Su acción no se limita a neutralizar sus componentes, sino corrige el efecto de unidades que no tienen filtro.
- 2 Controlar continuamente el pH en valores 10.5 – 12.0, garantiza, tanto la protección contra corrosión por acidez y fragilidad cáustica, como un nivel máximo de funcionamiento de los productos químicos dosificados paralelamente.
- 3 La periodicidad de los mantenimientos en calderas tienen un máximo de 6 meses; optimizar la calidad de los combustibles y del agua de alimentación para que no cause daños en el refractario y en las superficies de intercambio.
- 4 No todas las aguas tienen la misma calidad, incluso en la misma industria, dos calderas, torres de enfriamiento o condensadores alimentadas con pozos distintos, requieren un tratamiento químico con diferentes ajustes.
- 5 Para eliminar los problemas de arrastre en las tuberías de condensado, atacar los promotores de ácido carbónico y dióxido de carbono desde la caldera, evitar su formación con un pH entre 10.5 – 12.0.

- 6 En un proceso de desincrustación, el régimen de purga es estricto, para eliminar el material desprendido, impurezas del agua y taponamientos de los conductos. Ver figura 6 del apéndice.
- 7 Para evitar turbulencia, impurezas precipitadas que asciendan hacia las áreas de intercambio superiores, acumulación en el medidor de nivel y demás accesorios, purgar las calderas de arriba hacia abajo, en otras palabras, primero las purgas de superficie y luego las de fondo, de manera lenta en su apertura y cierre. Ver figura 11 del apéndice.
- 8 La aplicación de productos en circuitos de refrigeración es en forma continua y discontinua. Los primeros, inhibidores de incrustación y corrosión; los segundos, biocidas, su aplicación diaria acostumbra a los microorganismos a convivir con él y no son susceptibles a su dosificación. La vulnerabilidad microbiana se alcanza con ataques quincenales.
- 9 Las limpiezas físicas en circuitos de refrigeración son un complemento al tratamiento químico interno, éste se maximiza cuando a las unidades se les aplican los lavados periódicamente, incluso en sistemas tratados adecuadamente.
- 10 No exceder de 9 el valor de pH, una adecuada dosificación del alcalinizante, paralelo régimen de purga permite la concentración óptima.
- 11 Drenar el sistema, limpiar con soluciones biodispersantes y con ayuda de biocidas eliminar la materia biológica acumulada en las instalaciones

## BIBLIOGRAFÍA

1. Avallon, Eugene A., Theodore Baumeister III. **Manual del Ingeniero Mecánico**. 3ª. edición en español Tomos I y II. México: Editorial Mc-Graw Hill, s.a.
2. E. Pull 1977. **Calderas de vapor**. Editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona.
3. Gaffert, G.A. 1973. **Centrales de vapor**, Editorial Reverté, S.A. Barcelona, España
4. Germain L; Colas L, Rouquet J. 1982. **Tratamiento de las aguas**. Carmen Fusté Munne, traductor. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España.
5. [http:// www.adiquimica.com](http://www.adiquimica.com), Agosto de 2004
6. [http:// www.calderasindustriales.com](http://www.calderasindustriales.com) Agosto de 2004
7. Kohan, Anthony L. 2000 **Manual de Calderas**. Claudio Míguez Gómez, Traductor. Tomo II. Madrid: Editorial Mc-Graw Hill,s.a.
8. Rigola, Lapeña Miguel. **Tratamiento de aguas industriales**, Editorial Alfaomega marcombo, México, D.F.
9. Rodríguez Guerrero Gonzalo. 2000 **Operación de calderas industriales**. Eco ediciones. Colombia



## APÉNDICE

**Tabla VI. Variables, daños y tratamiento-función del agua en calderas.**

<b>ELEMENTO</b>	<b>CONSECUENCIA</b>	<b>TRATAMIENTO O INGREDIENTE</b>	<b>FUNCIÓN</b>
Dureza	Incrustación en superficies de intercambio	Secuestrante de dureza	Mantener este parámetro en cero
Oxígeno	Corrosión en tuberías de caldera, vapor y condensado	Secuestrante de oxígeno	Sin presencia de oxígeno
Ácido carbónico	Corrosión en tuberías de caldera, vapor y condensado	Alcalinizante	Valor de pH 10.5-12.0
Alcalinidad	Corrosión en tuberías de caldera, vapor y condensado	Alcalinizante	Valor de pH 10.5-12.0
Sílice y hierro	Incrustación	Antincrustante	Inhibir la acción de estos elementos
Total de sólidos disueltos, (carbonatos, bicarbonatos, cloruros, nitratos y sulfatos).	Corrosión en tuberías de caldera	Purga	Eliminar acumulación de contaminantes

**Tabla VII. Productos y mecanismo de acción para el tratamiento del agua en calderas**

INGREDIENTE ACTIVO	MECANISMO DE ACCIÓN
Fosfatos	Floculación: formación de lodos, evacuados en purgas, se usa para eliminación de componentes de dureza.
Polímeros	Dispersión: generan cargas electronegativas en forma subestequiométrica, manteniendo disueltos los minerales presentes.
Fosfonatos	Dispersión: fosfatos orgánicos, subestequiométricos, opera igual que los polímeros, permite agregar otros productos simultáneamente.
Quelantes	Quelación: remoción de incrustaciones de calderas en operación
Sulfito de sodio	Secuestra el oxígeno presente, quedando en forma de sulfato, que luego es eliminado a través del purgado.
Hidróxido de sodio	Mantener el pH entre (10.5- 12.0)

**Tabla VIII. Productos químicos utilizados en circuitos de refrigeración**

<b>INGREDIENTES</b>	<b>MECANISMO DE ACCIÓN</b>
Cromatos	Anticorrosivo que forman una película de óxidos férrico y crómico, muy estable.
Zinc	Anticorrosivo que forma una película protectora rápidamente, aunque a pH superior a 8 precipita y no se obtiene buen rendimiento. Ha sido substituido por su toxicidad.
Nitritos	Anticorrosivo que induce al metal a formar su propia película protectora, no se puede combinar con el cloro como biocida ya que éste lo oxidaría.
Poli fosfatos	Inhibidor de corrosión, forma películas estables sobre las superficies catiónicas de la mayoría de los metales. Controlan además la dureza.
Fosfonatos	Inhibidor de corrosión, comportamiento similar al del poli fosfato. Consiguen un excelente control de los depósitos de óxidos de hierro y sales duras.
Dispersantes	Polímeros antincrustantes, actúan al distorsionar la matriz estructural del crecimiento normal de cristales.
Quelantes y secuestrantes	Evitan el comportamiento normal de algunos iones, controla algunos cationes como calcio, magnesio, hierro, manganeso y aluminio.
Estabilizadores de depósitos	Ésteres de fosfato, actúan como anti incrustantes, secuestrantes de los óxidos metálicos.
Biocidas oxidantes	Control microbiológico
Biocidas no oxidantes	Control microbiológico mejor que los oxidantes, trabajan solos.

**Fig. 1** Cámara de vapor de una caldera piro tubular de 200 HP, con severa incrustación. Se aprecian los tubos del último paso, espejos y tubo central con daños por mal tratamiento del agua de alimentación.



FUENTE: Caldera de 200 HP. Fábrica de Muebles ubicada en Km.34.5 carretera a Antigua Guatemala



**Fig. 2 Caldera incrustada en proceso de cambio de tubos**



FUENTE: Caldera de 800 HP. Fábrica textil ubicada en Amatitlán.

**Fig. 3 Caldera pirotubular con indicios de incrustación**



FUENTE: Caldera de 200 HP. Industria de alimentos ubicada en Km. 13 carretera al Pacífico

**Fig. 4** Intersección tubo-espejo, de una caldera de 175 HP, que presenta corrosión en áreas críticas, por mal tratamiento del agua de alimentación



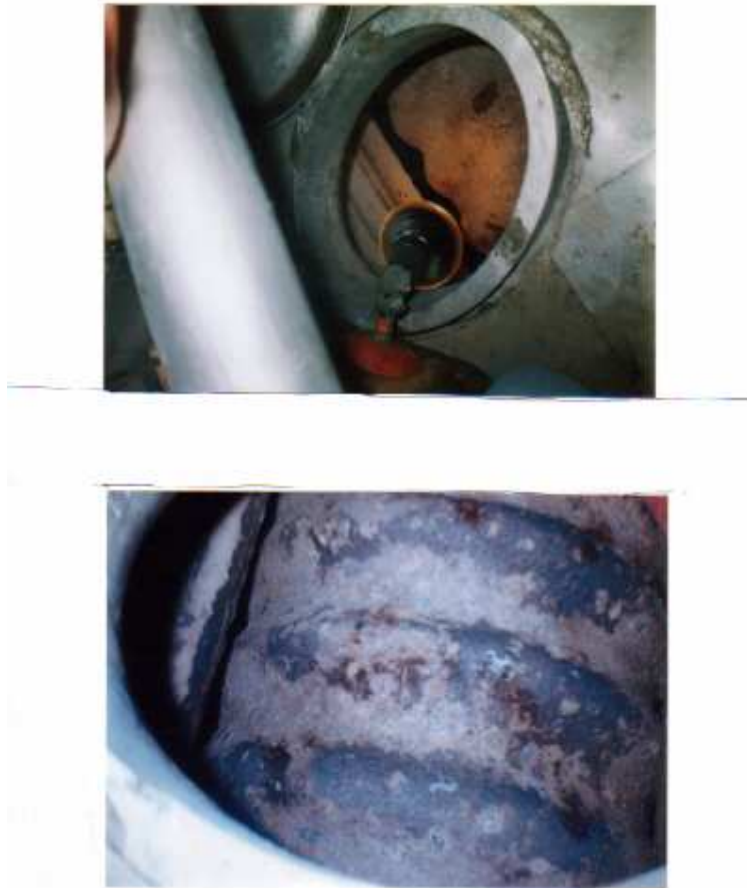
FUENTE: Caldera de una fábrica de alimentos ubicada en zona 4, Villa Nueva

**Fig. 5** Fugas en la intersección tubo-espejo de una caldera de 200 caballos, causa: corrosión por mal tratamiento de agua



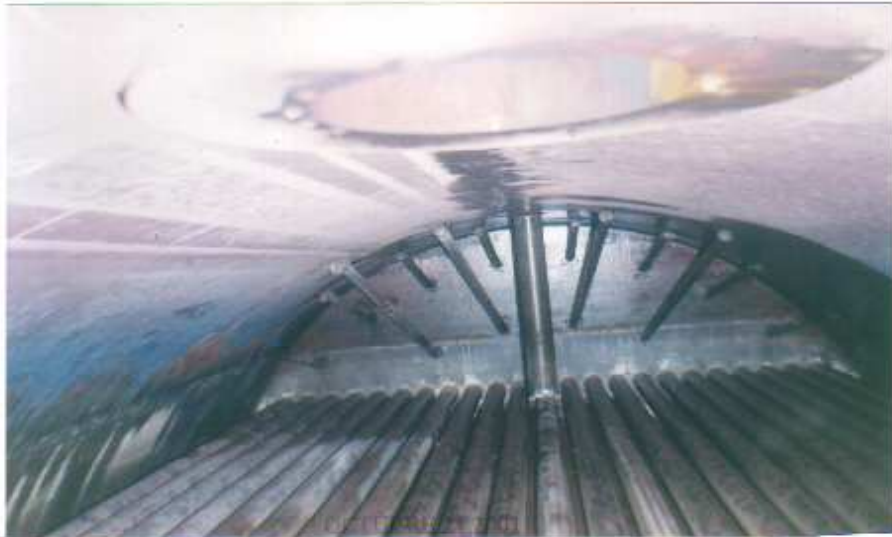
FUENTE: Caldera de 200 HP. Fábrica de concentrado de animales ubicada en Km. 13 carretera al Pacífico.

**Fig. 6** Proceso de des-incrustación lento, caldera piro tubular de 300 HP un año de trabajo. Arriba estado inicial de la caldera Abajo desprendimientos de las capas incrustantes y metal original del tubo central



FUENTE: Caldera pirotubular de 300 HP. Industria de alimentos ubicada en zona 12, Guatemala

**Fig. 7** Cámara de vapor de una caldera piro tubular de 800 HP, resultado de un tratamiento efectivo contra corrosión, oxidación e incrustación



FUENTE: Polchemical, química de productos óptimos para la limpieza, ubicada en zona 8 de Mixco, Guatemala. Caldera piro tubular de 800 HP industria avícola ubicada en Palín, Escuintla

**Fig. 8** Tapadera central de un condensador, se aprecia con severos daños causados por incrustaciones. No se observa el banco de tubos por donde circula el agua de enfriamiento



FUENTE: Condensador evaporativo de una industria avícola ubicada en Palín, Escuintla.

**Fig. 9** Condensador que utiliza como medio de condensación del vapor, agua fría



FUENTE: Condensador evaporativo de una fábrica de alimentos ubicada en Palín, Escuintla.



**Fig. 10**

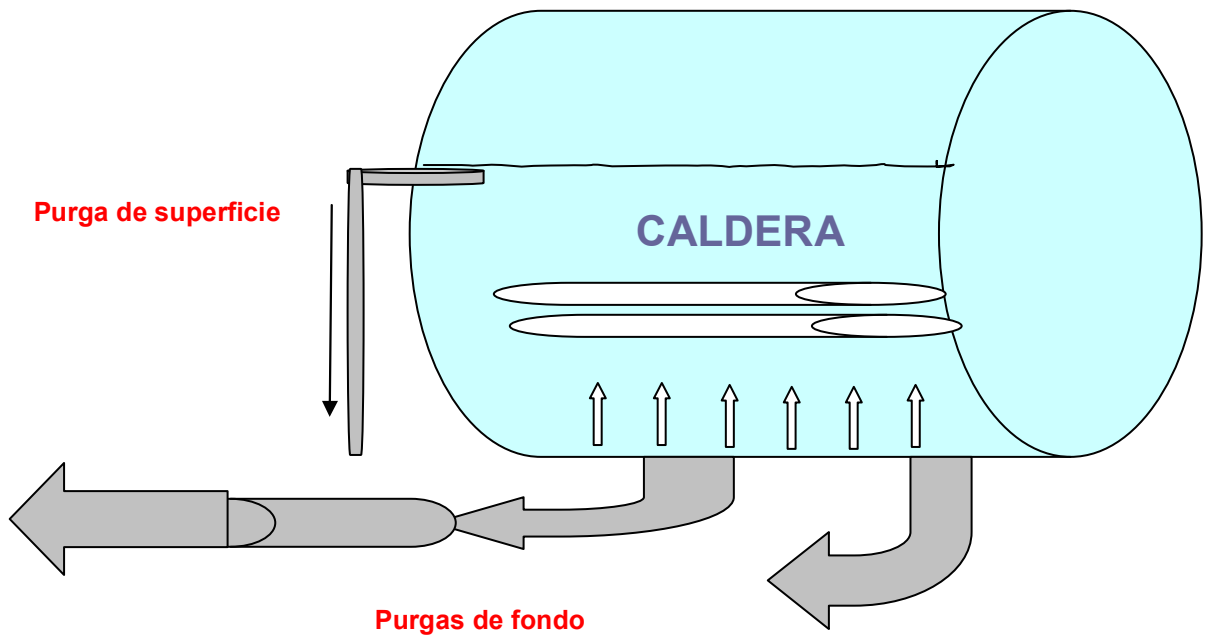
**Banco de tubos de una caldera pirotubular de 500 HP**



FUENTE: Industria de papel ubicada en Km. 45.5 carretera Pueblo Nuevo Viñas.

**Fig. 11    Secuencia de Purgas**

1. Vías de purgado:    Purga de superficie  
                                  Purga de nivel (Mc donell)  
                                  Purga de vidrio  
                                  Purga de fondo (2)
2. Purgar de arriba hacia abajo
3. La apertura de llaves para purga es lenta, al igual que al cerrarlas



# ANEXOS

## ANEXO 1

### PÉRDIDAS DE ENERGÍA DEBIDO A INCRUSTACIONES

**Tabla VIII. Pérdidas de energía debido a incrustaciones**

ESPEJOR DE INCRUSTACION EN PULGADAS	PORCENTAJE DE GASTO EXTRA DE COMBUSTIBLE
1 / 32	8.5
1 / 25	9.3
1 / 20	11.1
1 / 16	12.4
1 / 4	25.0
3 / 8	40.0
1 / 2	55.0

Fuente: Resultados de análisis hecho por el Departamento de Normas de USA, Seminario: "Problemas fisicoquímicos más frecuentes en sistemas de generación de vapor"

## ANEXO 2

### RANGOS PERMISIBLES DE EL TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS, ALCALINIDAD Y SÍLICE, SEGÚN LA PRESIÓN DE TRABAJO EN CALDERAS

**Tabla X Rangos permisibles de sólidos disueltos, alcalinidad y sílice, según la presión de trabajo en calderas**

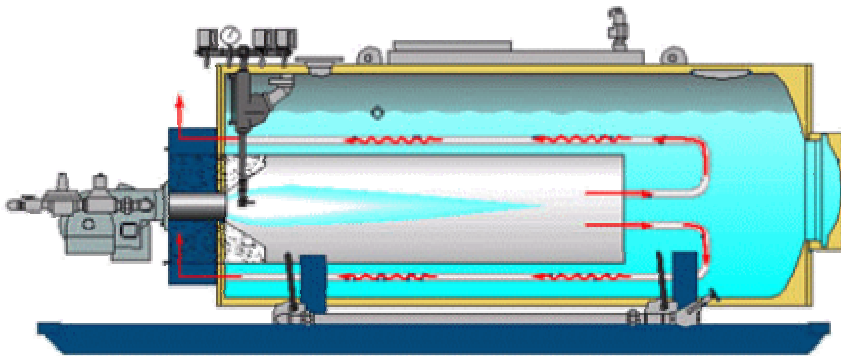
<b>Presión de Trabajo (psi)</b>	<b>Sólidos Totales (ppm)</b>	<b>Alcalinidad total (ppm como CaCO<sub>3</sub>)</b>	<b>Sílice (ppm como SiO<sub>2</sub>)</b>
0-300	3,500	700	75-50
301-450	3,000	600	50-40
451-600	2,500	500	45-35
601-750	2,000	400	35-25
751-900	1,500	300	20-8
901-1000	1,250	250	10-5
1001-1500	1,000	200	5-2
1501-2000	750	150	3-0.8
2001-2500	500	100	0.4-0.2
2501-3000	500	100	0.2-0.1

Fuente: Kohan Anthony L. 1988:545

## ANEXO 3

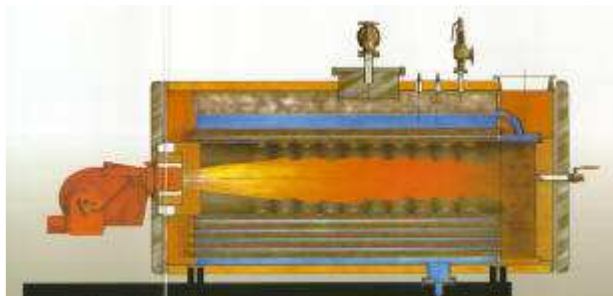
### CALDERAS DE ALTA Y BAJA PRESIÓN

**Fig. 12** Caldera pirotubular de menor o baja presión, (donde el agua rodea los tubos, en éstos circula fuego)



Fuente: [http://: www.calderasindustriales.com](http://www.calderasindustriales.com)

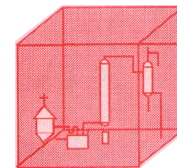
**Fig. 13** Caldera acuotubular de mayor o alta presión, (donde el fuego rodea los tubos por los que circula el agua)



Fuente: [http://: www.calderasindustriales.com](http://www.calderasindustriales.com)

## ANEXO 4

**Fig. 14 Hoja de control de análisis de agua  
 REPORTE DE ANÁLISIS DE AGUA**



EMPRESA: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
 DIRECCIÓN: \_\_\_\_\_  
 EFECTUADO POR: \_\_\_\_\_  
 PRODUCTOS USADOS: \_\_\_\_\_

### SISTEMA DE GENERACION DE VAPOR

MUESTRA DE	AGUA DE ALIMENTACIÓN	PURGA	CONDENSADO	LÍMITES	UNIDADES
pH				10.5 - 12.0	
TOTAL SOLIDOS DISUELTOS				Max. 3500	ppm
DUREZA TOTAL				0	ppm como CaCO <sub>3</sub>
ALCALINIDAD TOTAL "M"				700 - 800	ppm como CaCO <sub>3</sub>
ALCALINIDAD HIDROXIDOS "OH"					ppm como CaCO <sub>3</sub>
FOSFATOS				30 - 40	ppm como PO <sub>4</sub>
SULFITOS				20 - 40	ppm como SO <sub>3</sub>
CLORUROS				Max. 300	ppm como Cl
SILICE				Max. 120	ppm como SiO <sub>2</sub>
HIERRO				0	ppm como Fe-1-3
PURGAS					

### CIRCUITOS DE REFRIGERACIÓN

MUESTRA DE	AGUA DE ALIMENTACIÓN	CIRCUITO	UNIDADES
pH			
TOTAL SÓLIDOS DISUELTOS			ppm
DUREZA TOTAL			ppm como CaCO <sub>3</sub>
ALCALINIDAD TOTAL "M"			ppm como CaCO <sub>3</sub>
FOSFATOS			ppm como PO <sub>4</sub>

- A. Circuito Hermético
- B. Circuito Abierto
- C. Circuito Cerrado

DÓSIS ACTUAL: \_\_\_\_\_  
 OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 RECOMENDACIONES: \_\_\_\_\_

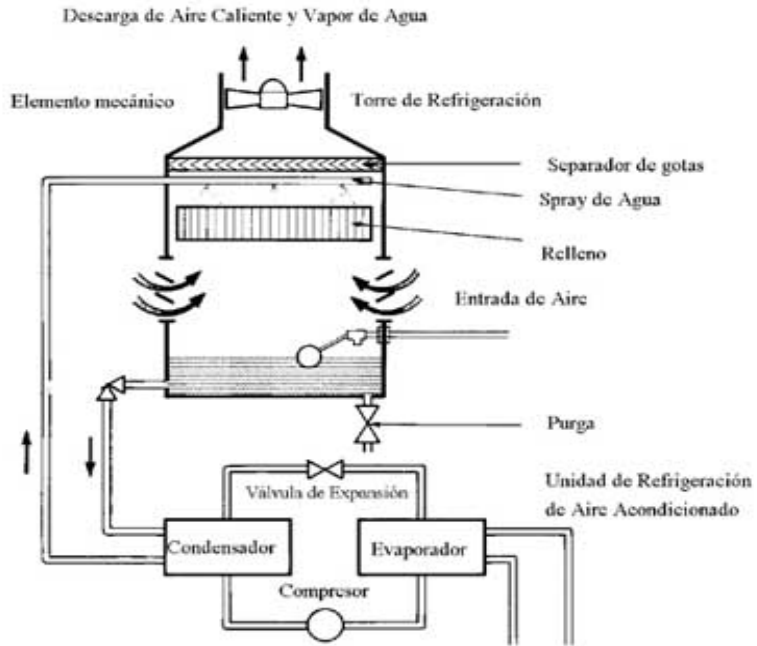
\_\_\_\_\_  
 ANALISTA

Fuente: Polchemical

## ANEXO 5

### ESQUEMA DE UNA TORRE DE REFRIGERACIÓN

Fig. 15 Esquema típico de una torre de refrigeración

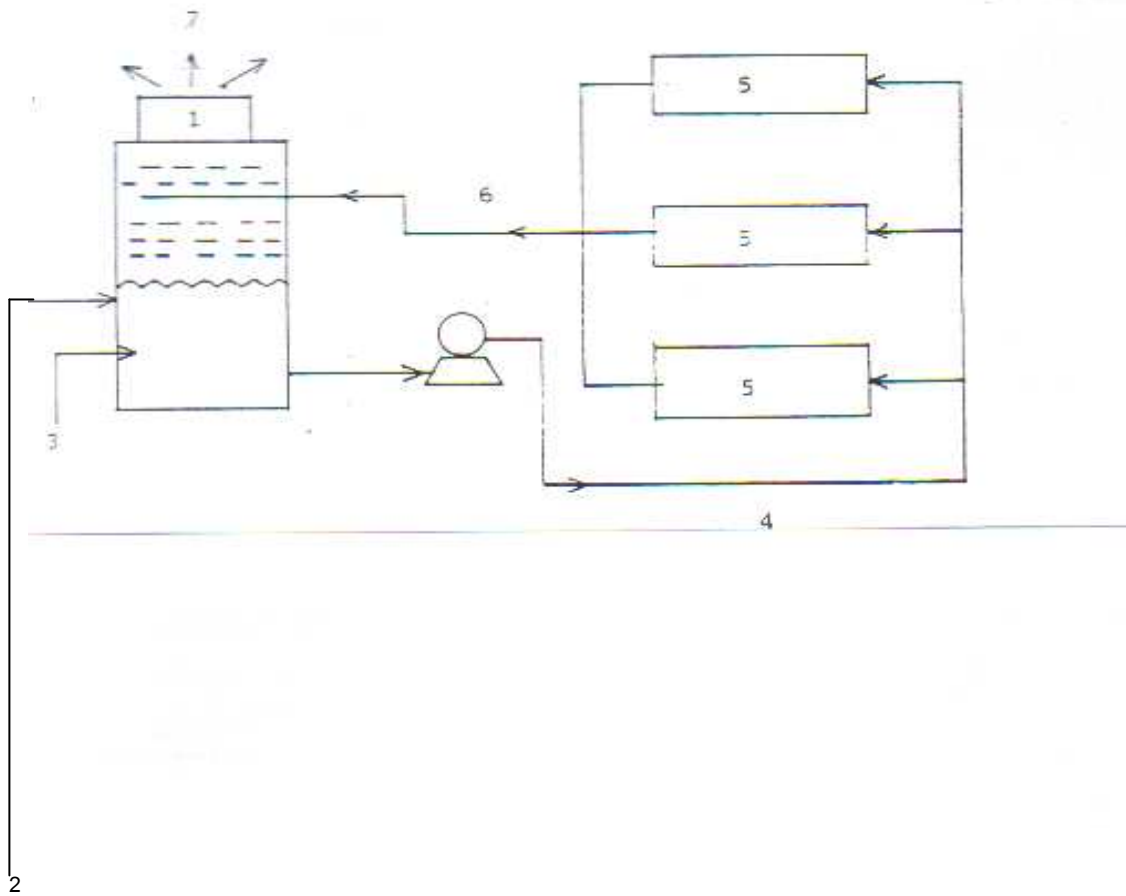


Fuente: [www.adiquimica.com](http://www.adiquimica.com)

## ANEXO 6

### CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN ABIERTO

Fig. 16 Circuito de refrigeración abierto



1. Ventilador

2. Agua de relleno

3. Tratamiento químico

4. Agua de recirculación fría

5. Intercambiadores de calor

6. Agua recirculación caliente

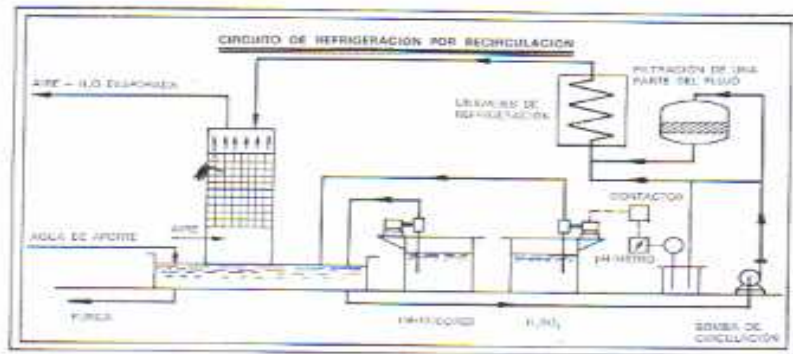
7. Pérdidas por evaporación

Fuente: Polchemical



## ANEXO 7 CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN CERRADO

Fig. 17 Circuito de refrigeración cerrado

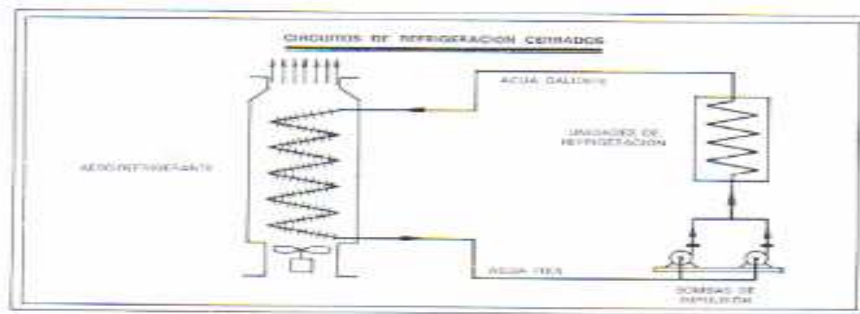


Fuente: Germain, L; Colas, L; Rouquet, J. 1982:105



## ANEXO 8 CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN HERMÉTICO

Fig. 18 Circuito de refrigeración hermético

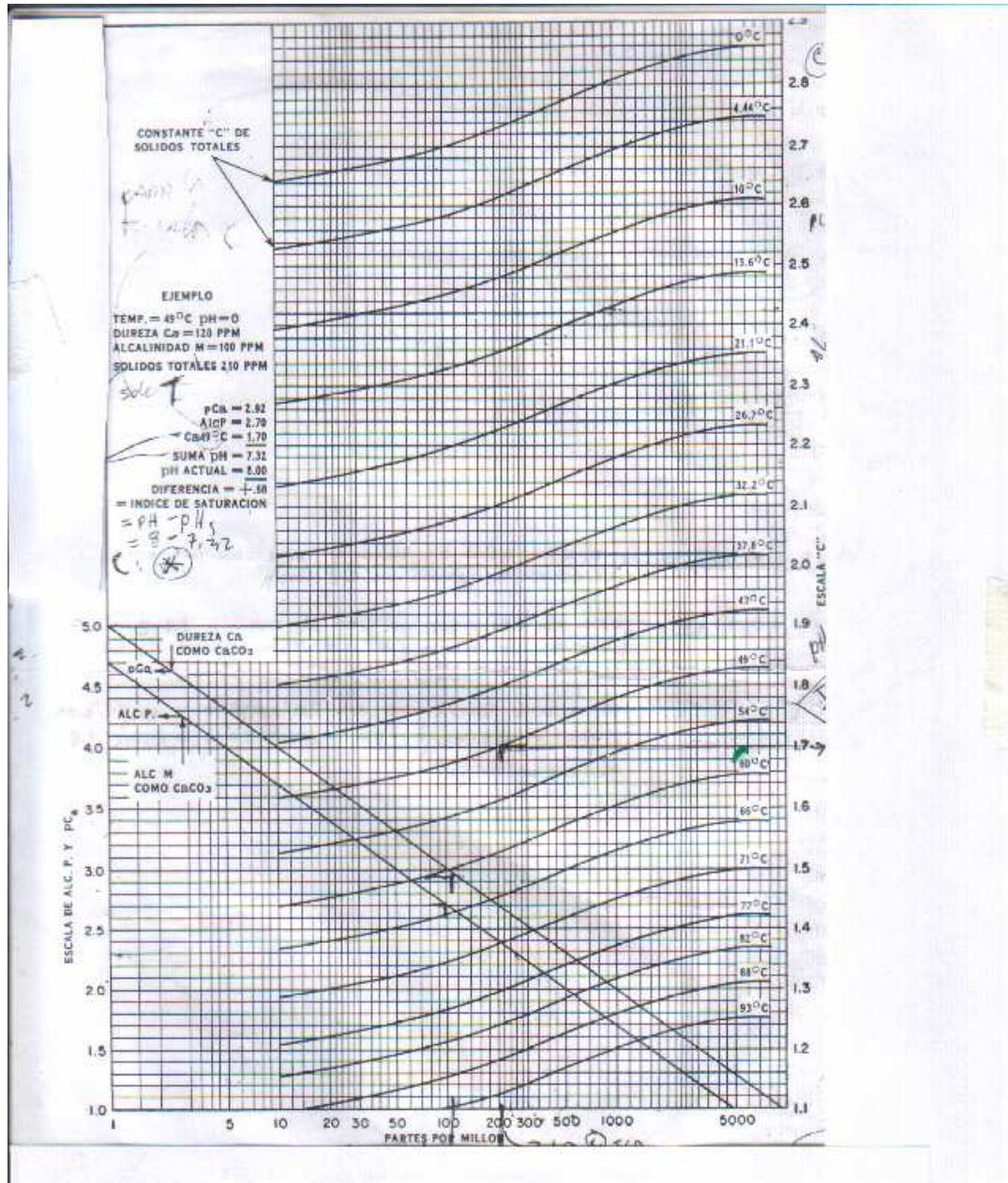


Fuente: Ibid., p. 103



# ANEXO 9

Fig. 19 Carta del índice de saturación de Langlier



Fuente: Sheppard T. Powell, 1992



ANEXO 10  
Fig. 20 Bitácora de control en calderas

**POLCHEMICAL**

EMPRESA: \_\_\_\_\_  
CALDERA No: \_\_\_\_\_

TURNO: \_\_\_\_\_

MES \_\_\_\_\_  
HP \_\_\_\_\_

**BITÁCORA DE CONTROL EN CALDERAS**

FECHA	HORA DE PURGA	PRESIÓN DE VAPOR	TEMPERATURA DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN	TEMPERATURA DE CHIMENEA	PRESION DE COMBUSTIBLE	TEMPERATURA DE COMBUSTIBLE	OBSERVACIONES

Fuente: Polchemical, Química de productos industriales, zona 8 Mixco