



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE  
SAN NICOLAS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**

TRATAMIENTO QUIMICO INTERNO DE LOS GENERADORES DE VAPOR DE LA  
CENTRAL TERMOELECTRICA PRESIDENTE PLUTARCO ELIAS CALLES DE PETACALCO  
GUERRERO.

**MEMORIA DE EXPERIENCIA PROFESIONAL**

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**LICENCIATURA EN INGENIERIA QUIMICA**

PRESENTA:

RUBEN CASTILLO HIGAREDA

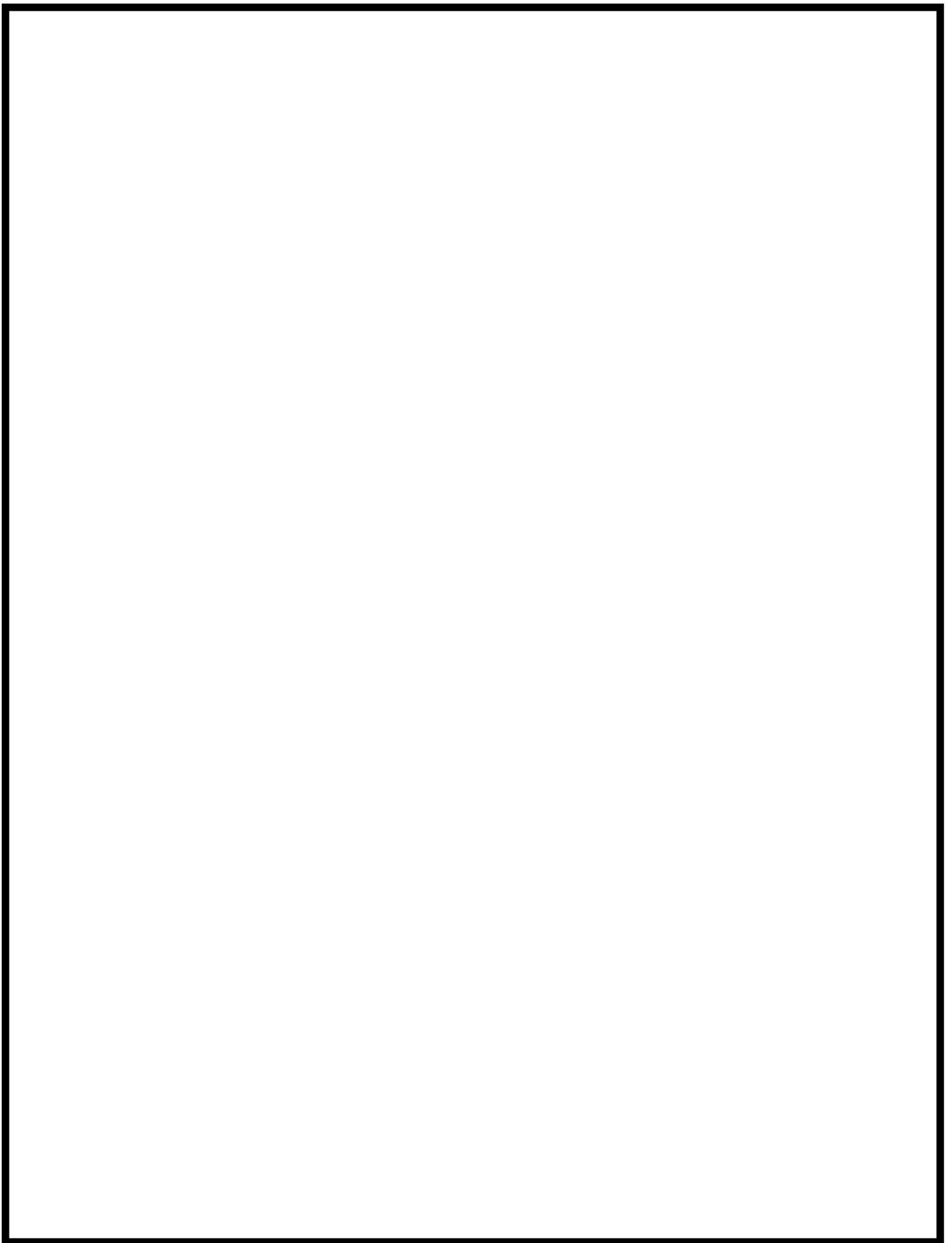
ASESOR:

M.C.RODOLFO RUIZ HERNANDEZ

MORELIA. MICH.

MARZO 2013.





TRATAMIENTO QUIMICO INTERNO DE LOS GENERADORES  
DE VAPOR DE LA TERMOELECTRICA PRESIDENTE PLUTARCO  
ELIAS CALLES DE PETACALCO GUERRERO.



PRESENTA P.I.Q. RUBEN CASTILLO HIGAREDA

MORELIA, MICH. 2013

DEDICATORIA

**A MIS PADRES**

SR. JOSE MARIA CASTILLO GODINEZ (Q.E.P.D) Y SRA. MARIA TERESA DE JESUS HIGAREDA CARDENAS:

Quienes para mi son lo mas valioso que me dieron la vida, que con esfuerzo y dedicación me dieron su apoyo. Mi padre que no pudo verme realizando mi sueño se lo dedico con todo mi amor y gratitud.

**A MI ESPOSA**

DRA: ERIKA MONJE ARIZA:

Quien siempre me ha apoyado en las buenas y malas para salir adelante y realizar mis metas gracias por acompañarme en un sueño hecho realidad y en mi vida, te amo

**A MIS HIJOS:**

BRANDON Y RUBEN.

Que nunca se detengan que luchen por sus metas y sus ideales en esta vida no hay limites son el por que de seguir adelante los amo hijos.

## AGRADECIMIENTOS

**A DIOS** Por darme siempre la fortaleza y salud para salir adelante e iluminarme en esos momentos tan difíciles de la vida.

**A MIS TIOS DELIA Y JOSE (Q.E.P.D)** Por brindarme su casa y su sustento unos años que sin ellos la vida hubiese sido aun más difícil gracias por apoyarme.

**A MIS HERMANOS JESUS, JOSE Y LOLA** Gracias por su compañía y gran cariño .

**A MIS AMIGOS** Israel García, Israel Gomez, Edgar García, Alejandro Zambrano, Marisol, Mavi, Iván, Dafne, Raúl, Toño, Adalberto, Ale, Yola, Al profesor de basquetbol José Luis Jacobo. Que siempre en las buenas y malas estuvieron ahí gracias por su amistad y cariño y los momentos tan gratos que quedaron en mí.

**A LA UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO**, y en especial a la **FACULTAD DE ING QUIMICA**, por brindarme la oportunidad de superarme sin limites y ser un profesionista en la vida y poder ser una persona de bien para la sociedad y mi país.

**AL MC. RODOLFO RUÍZ HERNÁNDES** Por brindarme su amistad y apoyo incondicional en la asesoría de esta investigación para poder realizarme como profesionista.

**AL SINDICATO ÚNICO DE TRABAJADORES ELECTRICISTAS DE LA REPÚBLICA MEXICANA SECCIÓN 117**, Por brindarme trabajo y cobijo cuando más lo necesite secretario general **Jaime Valencia** y **Javier Rebollar**, gracias.

**A CFE**, Por darme la oportunidad de seguir creciendo y desarrollarme como profesionista y a todos mis superiores y colegas que me alientan a seguir adelante.

TEMARIO

<b>RESUMEN</b> -----	pag 5
I.-INTRODUCCIÓN (justificación, objetivos, hipótesis).-----	pag 6
II.-GENERALIDADES O MARCO TEÓRICO.-----	pag 7-48
III.-DESARROLLO DEL TRABAJO (METODOLOGÍA).-----	pag 49
IV.-ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.-----	pag 50
V.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES Y REFERENCIAS.-----	pag 56

## RESUMEN

El aumento en la capacidad de las centrales generadoras de energía a partir de sistemas de vapor trae implícito el incremento en las condiciones de operación tales como presión, temperatura y flujos de vapor para su funcionamiento. Esto provoca, que los mecanismos de corrosión, depósitos e incrustación se vean acelerados de tal manera que generan graves daños en el generador de vapor, así como en los sistemas de post caldera y pre caldera y esto se refleja en pérdidas económicas por disminución de eficiencia y paros prolongados por ruptura de tubería.

Lo anterior ha llevado a la necesidad de tener un control de calidad de agua en el ciclo agua vapor cada vez más estricto, con la finalidad de eliminar al máximo las impurezas que generan los problemas antes mencionados.

El objetivo de controlar el agua de la caldera y el agua de alimentación, es proteger a la unidad contra corrosión y depósitos obteniendo un comportamiento seguro y confiable en la operación de la planta, así mismo se alarga la vida de las calderas y sus equipos.

EL control de calidad de agua de las calderas es una labor de suma importancia para mantener una eficiencia térmica adecuada en la operación de los equipos, esta responsabilidad recae en el departamento químico el cual se encarga de dicho tratamiento en el cual trabajaremos en esta tesina describiendo los métodos y las aportaciones hechas por personal técnico y como supervisión.

Por lo tanto, las personas encargadas del control de calidad del agua y aquellas conectadas con el mismo, deben de tener un adecuado conocimiento de la importancia de que esto representa para llevar a cabo un buen resultado así como alto criterio basado en el conocimiento para la solución de problemas en casos de contaminación del ciclo.

## **CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.**

A medida que se incrementa la presión de operación de un generador de vapor, la tolerancia de impurezas en el agua que se transforma en vapor se vuelve más crítica y los mecanismos de corrosión e incrustación se ven acelerados de tal manera que se puede provocar graves fallas tanto en el generador de vapor, turbina y precaldera.

Lo anterior ha llevado a la necesidad de contar con un control de calidad del agua en el ciclo cada vez más estricto con la finalidad de eliminar al máximo las impurezas que generan dichos problemas.

### **OBJETIVO**

El objetivo es controlar el agua de alimentación a calderas así como el agua del generador de vapor para evitar los siguientes fenómenos: incrustación, corrosión, contaminación del vapor, fragilización del metal, obteniendo así un comportamiento seguro y confiable en la operación de la unidad generadora de energía.

## **II.MARCO TEORICO**

### **IMPUREZAS DEL AGUA Y DAÑOS QUE CAUSAN EN LOS GENERADORES DE VAPOR**

#### **IMPUREZAS DEL AGUA**

Para poder llevar acabo un adecuado control de la calidad del agua, es necesario conocer las impurezas que contiene así como los problemas que causan y sus medios de tratamiento.

La fuente original de todas las aguas naturales es la lluvia. Al pasar ésta a través del aire o por los diferentes extractos de la tierra, va almacenando impurezas. Aunque las aguas difieren mucho en su composición, las impurezas que reúne hasta su uso son pequeñas. Las sales minerales consisten principalmente en bicarbonatos, carbonatos, cloruros, sulfatos y nitratos de calcio, magnesio y sodio; a veces acompañan pequeñas cantidades de sílice y también cantidades más o menos apreciables de hierro y sales de aluminio. Además de los componentes minerales, también suelen encontrarse algunos gases disueltos, tales como oxígeno, anhídrido carbónico y hasta vapores ácidos.

Finalmente el agua puede contener cuerpos en suspensión, bien provengan de origen animal u orgánico. La cantidad relativa de estas impurezas dependerá del origen del agua, y dado que la bondad de un agua determinada para alimentación de calderas depende de los efectos de sus impurezas, será conveniente tener un adecuado control de la calidad del agua, para conocer las impurezas que contiene, así como los problemas que causan y sus medios de tratamiento.

## Tratamiento químico interno de los generadores de vapor de la C.T.P.P.E.C.

Lo anterior se describe en la Tabla No.1, para su estudio.

**TABLA No.1  
IMPUREZAS DEL AGUA**

<b>IMPUREZA</b>	<b>FORMULA QUIMICA</b>	<b>DIFICULTADES Y PROBLEMAS</b>	<b>GUIA DE TRATAMIENTO</b>
TURBIEDAD	Compuestos varios, se expresa en unidades	Imparte apariencia indeseable, causa depósitos en líneas, equipo proceso intercambio de calor.	Coagulación, asentamiento, filtración.
COLOR	Compuestos varios. Se expresa en unidades	Causa espuma en calderas. Interfiere en análisis calorimétricos y en sistemas de precipitación del hierro. Puede teñir o colorear el producto en algunos procesos.	Coagulación y filtración, cloración, absorción por carbón activado.
DUREZA	Sales de calcio y magnesio, expresadas como CaCO <sub>3</sub> .	Principal fuente de incrustación en equipos de intercambio de calor, calderas, líneas y tuberías. Forma grumos con el jabón.	Suavización, desmineralización, destilación, tratamiento interno, dispersión.
ALCALINIDAD	Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ), Carbonatos (CO <sub>3</sub> ), e Hidróxido (OH), expresado como CaCO <sub>3</sub> .	Espuma y arrastres de sólidos en la producción de vapor. Fragilización del acero en calderas. Los carbonatos y Bicarbonatos producen CO <sub>2</sub> al calentarse y éste gases corrosivos.	Suavización por cal-soda, tratamiento ácido. Desalcalinización por intercambio aniónico, destilación.
ACIDEZ MINERAL LIBRE	Ácidos libres H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HCl expresados como CaCO <sub>3</sub> .	Corrosión general.	Neutralización con álcalis.
Ph	Concentración de iones hidrógeno pH = log 1/H <sup>+</sup> .	El pH varía de acuerdo a la acidez o alcalinidad en el agua. Aguas neutras oscilan de 6.0 a 8.0.	El pH debe ser regulado con álcalis o ácidos (subirlo o bajarlo).
DIOXIDO DE CARBONO	CO <sub>2</sub>	Corrosión en líneas de agua y particularmente en líneas de vapor y condensado.	Deareación, Neutralización con álcali, uso de aminas fílmicas y neutralizantes.
SULFATOS	SO <sub>4</sub>	Incremento de sólidos en agua carácter corrosivo de sales. Incrustante combinado con el calcio.	Desmineralización, Destilación y Osmosis inversa.
CLORUROS	Cl <sup>-</sup>	Incrementa su carácter corrosivo.	Desmineralización, Destilación

## Tratamiento químico interno de los generadores de vapor de la C.T.P.P.E.C.

		Incrementa sólidos en el agua.	Ósmosis inversa.
NITRATOS	NO <sub>3</sub>	Incrementa sólidos en el agua pero altas concentraciones son raras. Útil para controlar las fragilizaciones en calderas.	Desmineralización, Destilación y ósmosis inversa.
SILICE	SiO <sub>2</sub>	Incrustación y depósitos en el agua de enfriamiento y de calderas. Vaporización en las calderas y depósitos en alabes de turbinas.	Proceso de remoción en caliente con sales de magnesio, absorción por resinas de intercambio iónico fuertemente básicas.
FIERRO	Fe <sup>++</sup> (ferroso)	Coloración y precipitación en el agua. Depósitos en líneas, calderas, etc.	Aereación, coagulación y filtración. Suavización con cal. Intercambio catiónico.
FIERRO	Fe <sup>+++</sup> (férrico)	Interfiere en algunos procesos.	Filtración por contacto.
MANGANESO	Mn <sup>++</sup>	Mismos que el hierro.	Mismos que el hierro.
ACEITES Y GRASAS	Expresado como materiales extractables por cloroformo.	Depósitos, lodos y espumado en calderas, impide la transmisión de calor, indeseable en la mayor parte de los procesos.	Separación mecánica. Coagulación y filtración. Filtración a través de tierras diatomáceas.
OXIGENO	O <sub>2</sub>	Corrosión en líneas de agua, equipo de intercambio de calor, calderas, retorno de condensado, etc.	Deaeración, eliminadores de oxígeno, hidracina, sulfito de sodio, inhibidores de corrosión.
SULFURO DE HIDROGENO	H <sub>2</sub> S	Causa olor a huevo podrido. Corrosión general. Venenoso.	Aeración, cloración, intercambio iónico con resinas fuertemente básicas.
AMONIACO	NH <sub>3</sub>	Corrosión del cobre, zinc y sus aleaciones, formación de iones solubles complejos.	Intercambio catiónico, cloración deaeración.
CONDUCTIVIDAD	Expresado en mmhos/cm.	Resultado de sólidos ionizables en solución. Alta conductividad incrementa características corrosivas del agua.	Cualquier proceso que disminuya el contenido de sales disueltas. Desmineralización, Destilación, Ósmosis inversa.
SOLIDOS SUSPENDIDOS	Varios compuestos.	Cantidad de materia en suspensión determinada por gravimetría, tapan líneas, causan depósitos en equipo de transferencia de calor calderas, condensadores, etc.	Decantación, filtración precedida de coagulación.

## Tratamiento químico interno de los generadores de vapor de la C.T.P.P.E.C.

---

### CARACTERÍSTICAS DEL GENERADOR DE VAPOR

Su función es la de transformar el agua en vapor con una presión y temperatura determinada mediante la transformación de la energía química contenida en el combustible.

<b>CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO.</b>		
	U-1 Y 2	U-1 A 6
Fabricante	M H I	M H I
Diseño	Circulación controlada, Recalentador radiante y hogar balanceado, tipo intemperie.	
<b>FLUJO DE VAPOR (kg/h)</b>		
Salida del Sobrecalentador	1 185 360	1 192 833
Salida del Recalentador	1 049 420	1 007 560
<b>PRESIÓN DE VAPOR (kg/cm<sup>2</sup> man)</b>		
Diseño (Hogar y Sobrecalentador)	208	210
Salida del sobrecalentador	186	186
Domo	199,7	199
Diseño recalentador	58	58
Entrada recalentador	46,3	46,4
Salida recalentador	44,1	44,2
<b>TEMPERATURA DE VAPOR (°C)</b>		
Salida del Sobrecalentador	541	541
Entrada del Recalentador	343	343
Salida del Recalentador	541	541
Temperatura del Agua de Alimentación entrada al economizador (°C)	258	259
Temperatura del aire ambiente(°C)	31,5	31,5
Sistema de combustión	Quemadores tangenciales para carbón mineral y combustóleo / diesel para arranque, y pilotos.	
Sistema de tiro	Hogar balanceado, con ventiladores de tiro forzado e inducido.	
Control de temperatura	Recirculación de gases, inclinación de quemadores y atemperación.	

## DAÑOS CAUSADOS POR LAS IMPUREZAS DEL AGUA

Los daños causados por una mala calidad del agua en el ciclo de agua - vapor puede dividirse en:

- ✓ **Corrosión,**
- ✓ **Depósitos y**
- ✓ **Arrastres.**

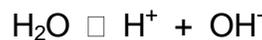
### CORROSIÓN.

La corrosión del hierro en las calderas puede considerarse como un proceso electroquímico. Todos los metales tienden a pasar a solución cuando se encuentran en contacto con agua o en soluciones acuosas, y el proceso se representa en forma de intercambio eléctrico:



El metal de hierro se disuelve como resultado del intercambio de las cargas eléctricas de iones  $\text{H}^{+}$  en la solución. Por lo que el hierro existe en la solución en forma de partículas cargadas eléctricamente o iones, y el hidrógeno, de donde proceden las cargas, queda libre en forma de gas. Esta reacción tiene lugar en pequeña escala hasta que, debido a otras causas, el hierro sea extraído de la solución. Bajo tales causas, la solución de hierro metálico o, en otras palabras, su corrosión continúa de un modo constante, siempre que las partículas iónicas sean extraídas fuera de la solución de una forma u otra, como, por ejemplo, en forma de herrumbre.

El agua se disocia ligeramente en partículas iónicas:



Los iones  $\text{H}^{+}$  que participan en la acción disolvente mencionada, o corrosiva, se encuentran pues, presentes en todas las soluciones acuosas en un grado que depende de condiciones determinadas, tales como temperatura a la que está expuesta el agua y las características de los solutos disueltos. Además, después de la transformación a gas hidrógeno, los iones  $\text{H}^{+}$  dejan detrás un número equivalente de iones oxidrilo. Estos establecen el equilibrio con los iones férricos que pasan a la solución, de manera que ésta o el agua permanecen eléctricamente neutras:



Los iones férricos y los iones oxidrilo tienden a unirse para formar hidróxido ferroso, por lo que de nuevo se establece el equilibrio, de forma que a una temperatura determinada el producto de la concentración de iones ferrosos y oxidrilos es constante. La solución o corrosión del hierro cesará después del proceso con la obtención de una solución saturada de  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , y sólo seguirá el proceso en muy pequeña escala.

El que cese la corrosión es debido a que:

- a) Se acumule una pequeña capa de gas hidrógeno molecular sobre la superficie metálica, impidiendo así el contacto iones hidrógeno metal.
- b) La concentración de hierro en el agua llega al punto de saturación, además de la tendencia a que se deposite en la superficie del metal la capa protectora oxidante.

Sin embargo la presencia de oxígeno disuelto en el agua, hecha por tierra estas influencias protectoras. El hidrógeno se combina con el oxígeno para formar agua, manteniendo de esta forma el contacto metal/agua. El oxígeno se combinará también con el hidróxido ferroso para formar el hidróxido férrico que es más soluble, de forma que como la solución esta saturada de  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , al pasar a  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  y ser éste menos soluble, parte de éste precipita y queda, por tanto, menos hierro en la solución. Se puede mantener una continua corrosión, sirviéndose de oxígeno disuelto, aparte de su función en la corrosión por una aireación diferencial o de Evans.

La presencia de oxígeno en la solución ayuda a la corrosión, actuando de despolarizador y eliminando el hidrógeno, con el consiguiente aceleramiento corrosivo. Ninguna de estas teorías explica de un modo racional el problema de los ataques localizados, tales como las picaduras o cavidades, o por qué la corrosión procede más rápidamente en el fondo de un recipiente que en otra parte del mismo. De igual forma no explican por qué los productos de corrosión forman, a veces, una capa compacta sobre el metal, impidiendo ataques posteriores, al paso que otras veces una corrosión porosa o floculenta estimula el ataque. La teoría electroquímica basada en el principio de la aireación diferencial, encaja bien en todas las situaciones tan extremadamente diversas que se presentan hoy en día. Esta teoría fue enunciada por Evans como resultado de lo que él denomina "el experimento clave".

## Tratamiento químico interno de los generadores de vapor de la C.T.P.P.E.C.

---

En dicho experimento se colocaron dos barras de hierro, limpias, cortadas de la misma placa, el recipiente para la prueba esta dividido en dos compartimentos unidos por una pared porosa, cada compartimento contiene una solución de sal, así como una barra del metal, y las dos barras se unen a los bornes de un miliamperímetro. Aunque cada barra es de la misma composición y esta expuesta a la misma solución, cuando se burbujea aire en un compartimento se establece una corriente eléctrica, la cual se detecta en un miliamperímetro, haciendo de cátodo el electrodo airado. Por su parte, el electrodo no airado, o ánodo, pierde peso, es decir, se corroe. Las sales disueltas, una vez ionizadas, transmiten la corriente generada.

Evans demostró que tal aireación diferencial de corrientes puede establecerse no solamente con electrodos de hierro, sino con electrodos de zinc, cadmio, plomo, níquel o aluminio.

### CORROSION POR OXIGENO.

Es evidente la interpretación del experimento de Evans, con referencia al papel del oxígeno disuelto, en la corrosión. En la corrosión por picaduras el ataque empieza por los poros y cavernas del metal, que son especialmente inaccesibles al oxígeno. El interior de estas cavernas se transforma en un punto anódico, por lo que es atacado, pudiendo suceder dos casos. Primero la herrumbre formada en las cavidades puede llegar a cubrir el metal inferior de las mismas, quedando de esta forma aislado del oxígeno, por lo que la corrosión se extenderá a una área mayor y llegará a ser menos peligrosa. Sin embargo, si por cualquier causa la herrumbre producida por la corrosión no cubre totalmente la parte corroída, en este caso, dicha capa de herrumbre servirá para aislar parcialmente el metal del oxígeno, por lo que se originará una corrosión más intensa, Figuras Nos. 2 y 3.

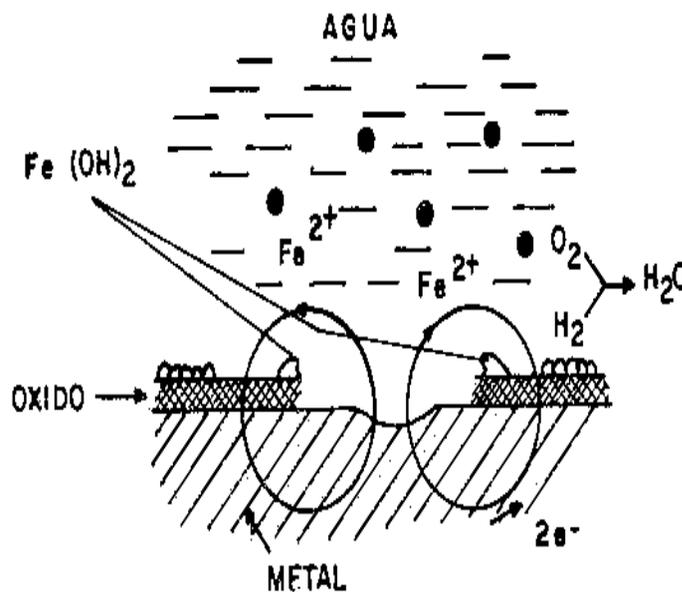
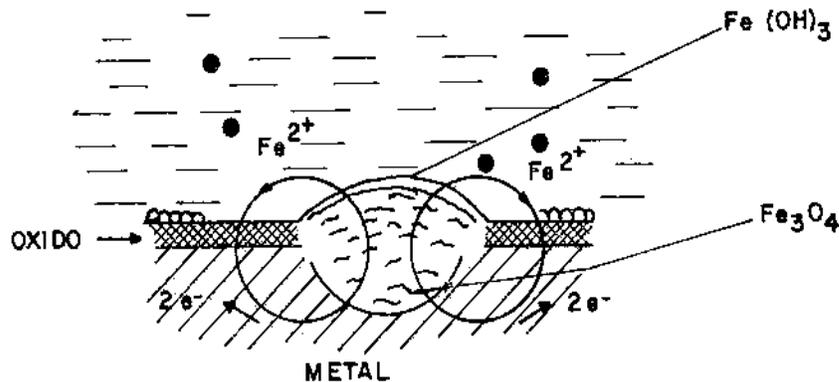


Figura No. 2 Inicio de la Picadura.

Segundo cuando la capa de óxido que cubre la superficie del acero se rompe por esfuerzo mecánico u otras causas el metal base queda expuesto a la corrosión, formando una celda local entre el óxido y el metal base. El producto de corrosión es  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  el cual se descompone y transforma en magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) la cual impide la corrosión posterior. Sin embargo si el agua es baja en pH ó hay aporte adicional de oxígeno la corrosión continúa indefinidamente.



**Figura No. 3 Propagación de la Picadura.**

En presencia de oxígeno disuelto, la película de óxido se acumula por precipitación en la picadura. En el interior del tubérculo se consume el oxígeno y se crea una celda de concentración diferencial que hace progresar la corrosión localizada (Picadura) en forma continua. La picadura frecuentemente tiene la apariencia de un tubérculo semi - circular con óxidos en su interior.

Siendo el oxígeno disuelto la principal causa de la corrosión, existen límites permisibles de oxígeno en función de las presiones de los generadores de vapor.

**TABLA No. 2**

<i>PRESION DE OPERACION</i>		<i>LIMITES DE OXIGENO</i>		
(psi)	Kg/cm <sup>2</sup>	ASME	MITSUBISHI	
		(1)	(2)	(3)
< 150	< 10	< 1.0		
151 - 300	10 - 20	< 0.04	< 0.5	
301 - 450	20 - 30	< 0.04	< 0.1	
451 - 750	30 - 40	< 0.007	< 0.03	0.03
751 - 1100	50 - 75	< 0.007	< 0.007	0.007
> 1100	> 75			
1500				0.005
2500				0.003
> 3200				0.002

En general, la velocidad de corrosión es directamente proporcional a la temperatura y a la concentración del oxígeno e inversamente proporcional al pH.

En la Figura No. 4, se presenta la solubilidad del oxígeno en el agua en función de la temperatura, en la cual se aprecia que a menor temperatura mayor solubilidad y a mayor temperatura menor solubilidad, esto explica porque se calienta el agua en el deareador de una unidad generadora.

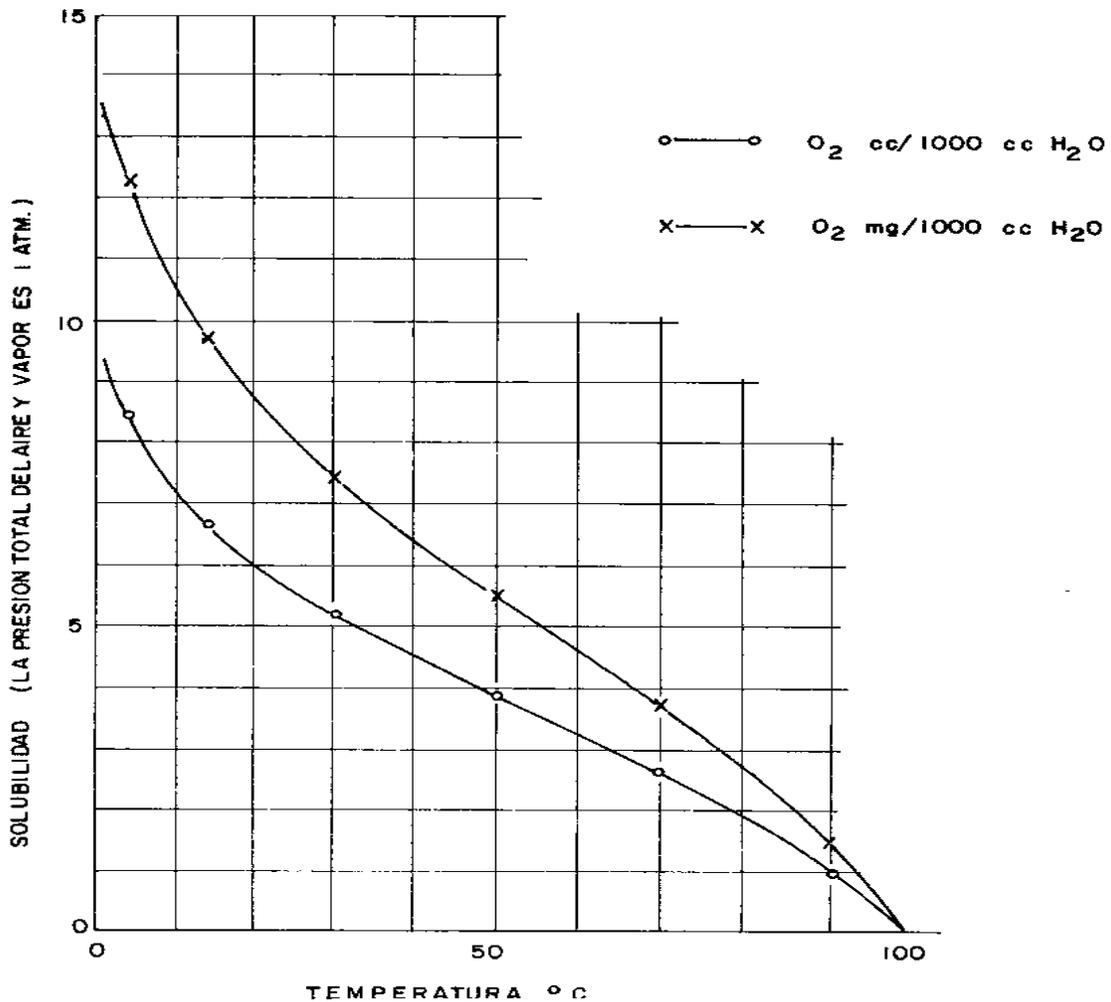


Figura No. 4 Solubilidad del Oxígeno en Agua con respecto a la Temperatura.

El oxígeno disuelto ocasiona picaduras en el acero e induce la corrosión por amoníaco en las aleaciones de cobre. En la corrosión natural del cobre, se forma un óxido cuproso ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) el cual actúa como pasivador de acuerdo a la siguiente ecuación:



Sin embargo, en presencia de amoníaco, el óxido se disuelve siendo la corrosión del cobre proporcional a la concentración del oxígeno y el amoníaco presente.



La Tabla No. 3, se presentan los límites de oxígeno y amoníaco recomendados para el control de la corrosión del cobre en el sistema precaldera.

**TABLA No. 3**

<b>Oxígeno Disuelto</b> ( ppb )	<b>Amoníaco Máximo Recomendable</b> ( ppm )
0 - 20	0.50
21 - 50	0.30
> 50	Cualquier nivel causa probl

## **CONTROL DEL OXIGENO.**

El control efectivo del oxígeno requiere de la aplicación combinada de:

### **- Medios Mecánicos**

- 1) Deaeración mecánica
- 2) Eliminación de las entradas de aire al sistema

### **- Medios Químicos**

- 3) Control del pH del agua de alimentación
- 4) Deaeración química
- 5) Pasivación de las superficies metálicas

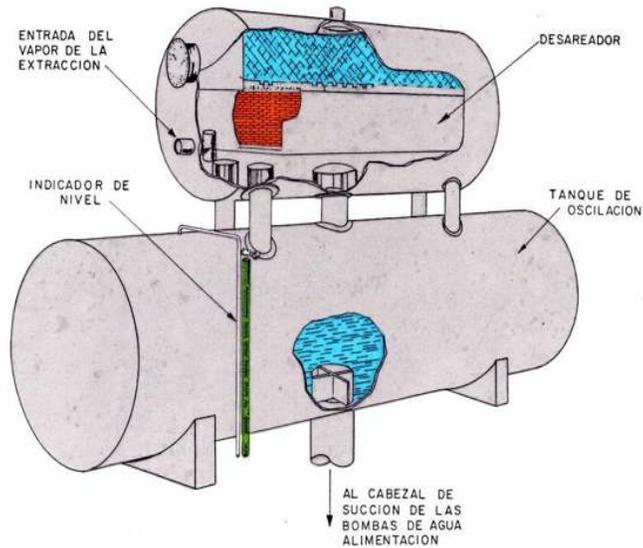
## **REMOCION MECANICA DEL OXIGENO.**

La remoción mecánica del oxígeno, se efectúa en el calentador deaerador.

El agua de alimentación se pone en contacto con vapor a presión positiva impidiendo la entrada de aire al sistema y al aumentar la temperatura del agua, reduce la solubilidad del oxígeno.

El agua cae a través de charolas o espreas que al formar gotas muy finas facilitan el escape del oxígeno.

Oxígeno liberado es venteado hacia la atmósfera. Una regla de dedo para un buen venteo es mantener una pluma de vapor condensado del orden de tres pies de altura.



### REMOCIÓN QUÍMICA DE OXÍGENO.

Una buena operación del deareador, reduce el contenido de oxígeno a 7 ppb, lo cual no es suficiente. Hoy en día se usan bastante los tratamientos de agua con sustancias químicas, para reducir aún más el contenido del oxígeno en el agua. Estos productos químicos se denominan secuestrantes de oxígeno.

Es recomendable mantener el pH del agua en el generador de vapor por arriba de 8.5, a fin de propiciar la formación de óxidos protectores (magnetita). Esto reduce la velocidad de corrosión de los metales. La figura No. 5 muestra la corrosión del hierro en función del pH.

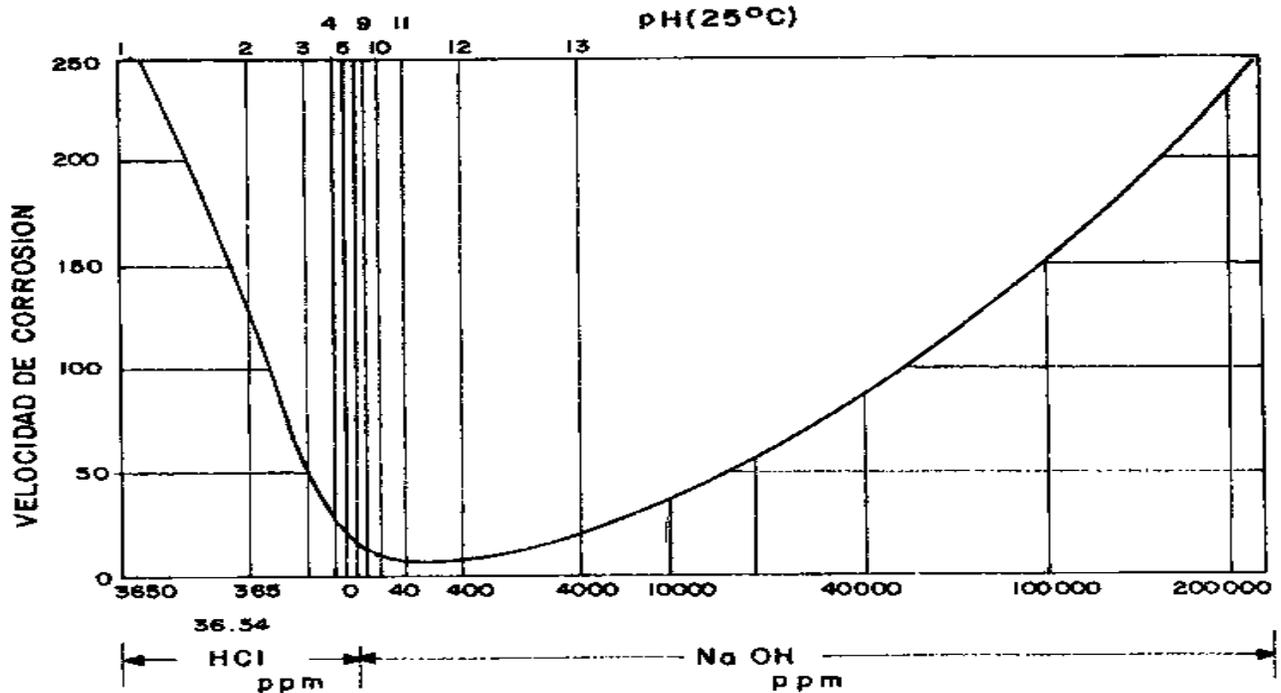


Figura No. 5 Velocidad de corrosión en función del pH.

Finalmente, se ha encontrado que muchos de los secuestrantes de oxígeno promueven además la formación de películas de óxidos protectores y ayudan a mantener la integridad de estas películas una vez formadas.

En el caso del acero, la magnetita es el óxido pasivador. La magnetita es una película delgada, densa y adherente. Cuando hay oxígeno y pasivador presente, el oxígeno reacciona primero para formar la magnetita y antes de que ésta se oxide a hematita (óxido rojo no protector) se efectúa una reacción de reducción propiciada por el pasivador. Como no se forma hematita, no hay destrucción de la película protectora y en consecuencia corrosión. El óxido común, hematita  $Fe_2O_3$ , es un material voluminoso que permite el paso del agua y el oxígeno hasta la superficie metálica, donde continúa la reacción de corrosión.

Esto indica que se puede obtener un buen control de la corrosión aún en presencia de pequeñas cantidades de oxígeno disuelto, si está presente una película pasiva. El análisis rutinario del Hierro y Cobre en el agua de alimentación, son medidas confiables de la eficiencia de los pasivadores.

La Tabla No. 4, resume las ventajas y desventajas de los secuestrantes de oxígeno y pasivadores actualmente disponibles. En todos los casos, el producto químico reacciona con el oxígeno y con los óxidos metálicos. La eficiencia de la reacción depende del tiempo, la temperatura, la concentración y el pH del sistema.

Siendo el tiempo uno de los factores más importantes para la eficiencia de reacción (mientras más rápido reaccione con el oxígeno será más efectivo) muchos de ellos se catalizan para reducir el tiempo de reacción.

**TABLA No. 4**

*SECUESTRANTES DE OXÍGENO Y PASIVADORES*

<b>PRODUCTO</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Hidrazina o Hidrazina Catalizada	No añade sólidos al agua. Tecnología bien conocida. Proporciona alguna pasivación.	Reacciona muy lento con el oxígeno por abajo de los 350°F (117°C). Se descompone rápidamente a amoníaco entre los 400 y los 600°F (204-315°C). cada 10 ppb de hidrazina genera 7 ppb de amoníaco.
Carbohidrazida	Se hidroliza a hidrazina desde los 200°F (93°C). Lenta descomposición con el oxígeno a temperatura ambiente. Proporciona alguna pasivación. No añade sólidos al sistema. Nueva forma de hidrazina. Reacción más rápida que la hidrazina a temperaturas bajas. Menos riesgosa (excepto en los venteos) que la hidrazina.	Se descompone a amoníaco desde los 400°F (204°C). Reacciona muy lentamente con el oxígeno por abajo de los 250°F (121°C). Añade 0.5 ppb de amoníaco y 0.5 ppb de dióxido de carbono por cada ppb de carbohidrazida.

**HIDRAZINA.**

Se introdujo en Europa en los años 50 y se convirtió en el tratamiento estándar para calderas de alta presión en los años 60.

Su atractivo principal es que no introduce sólidos a la caldera y entonces permite operar a más ciclos de concentración y ahorrar agua en la purga.

Donde los sulfitos en el vapor pueden contaminar los procesos; ó cuando el agua de alimentación se usa para atemperación.

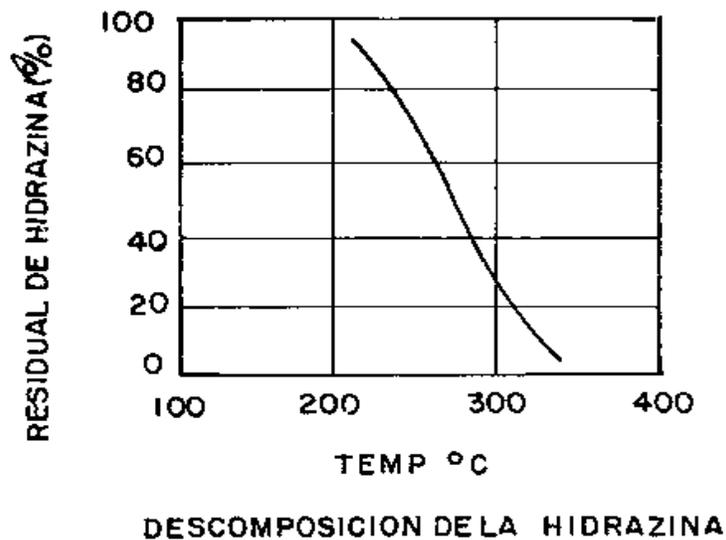


## Tratamiento químico interno de los generadores de vapor de la C.T.P.P.E.C.

---

La reacción es lenta a temperatura ambiente, pero se incrementa con la temperatura y el pH. La presencia de un catalizador reduce la temperatura de reacción, casi a temperatura ambiente. Sin embargo, la velocidad de reacción es más lenta que la del sulfito de sodio.

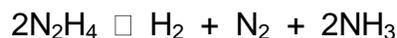
La hidrazina se empieza a descomponer alrededor de los 400°F (204°C) y se descompone totalmente a los 600°F (315°C).



La reacción en la parte baja de temperatura se cree que es:



Y a alta temperatura la reacción parece ser:



En cualquier caso, se genera una cantidad significativa de amoníaco con la descomposición de la hidrazina. El amoníaco ataca al cobre y sus aleaciones en los sistemas de condensado y agua de alimentación. Esta es una buena razón para mantener bajo el exceso de hidrazina en el agua de alimentación,

La hidrazina también reacciona con los óxidos de fierro y cobre (CuO y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) formando protectores pasivos.



Se requieren temperaturas superiores a los 250°F (121°C), para que estas reacciones tengan lugar.

Así, la hidrazina es básicamente un agente pasivador más que secuestrante de oxígeno.

En últimas fechas, la tendencia es sustituir el uso de la hidrazina debido a su potencialidad como cancerígeno ya que los productos pasivadores técnicamente son más ventajosos.

### **CARBOHIDRAZIDA.**

El uso de carbohidrazida como pasivador y secuestrante de oxígeno fue patentado en 1981.

La carbohidrazida del ácido carbónico (H<sub>2</sub>N-HN-CO-NH-NH<sub>2</sub>).

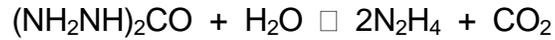
A temperatura ambiente, puede reaccionar directamente con el oxígeno, a igual velocidad que la hidrazina:

## Tratamiento químico interno de los generadores de vapor de la C.T.P.P.E.C.

---



De los 275°F (135°C) en adelante, se empieza a descomponer en hidrazina:



La cual reacciona con el oxígeno presente:



Por cada ppm de carbohidrazida que se degrada, se genera 0.5 ppm de amoníaco y 0.5 ppm de dióxido de carbono.

La ventaja de la carbohidrazida, es que forman películas pasivas más estables que la hidrazina, ya que reacciona directamente con los óxidos de fierro y cobre.



## CORROSIÓN POR SALES INESTABLES

La corrosión puede también ser causada por ciertas sales presentes en el agua de alimentación, aunque sólo sea en pequeñas cantidades. Esto se debe al hecho de que éstas son inestables en las condiciones del interior del generador de vapor y se descomponen para dar ácidos libres. Las sales de magnesio suelen ser las más peligrosas.

El cloruro de magnesio puede hidrolizarse de esta forma:



El ácido clorhídrico, corrosivo, ataca inmediatamente al hierro. Es importante notar que el resultado de este ataque es el cloruro de hierro, que a su vez puede descomponerse según la fórmula:



El ácido clorhídrico libre queda así regenerado, por lo que el ciclo corrosivo puede empezar de nuevo. Este ácido libre no se combina con la herrumbre o la magnesia, ya presentes en el agua del generador de vapor, debido a las condiciones especiales de éstas. El ácido libre continúa, corroyendo hasta ser eliminado por el vapor en estado volátil. Incluso, en tal caso, puede atacar a los sobrecalentadores, a la turbina en el extremo de baja presión y al economizador.

Con el nitrato de magnesio se da un ciclo parecido:



Aquí también se tiene la regeneración el ácido libre, y se debe observar que tal regeneración ocurre siempre que hay ataque ácido del hierro en un generador de vapor, ya que las sales de hierro (nitratos, cloruros, etc.) son inestables en las condiciones del generador y se descomponen en la conocida herrumbre y ácido libre. El hidrógeno formado en la reacción entre el ácido y el metal tenderá también a causar fragilidades.

El sulfato de magnesio es bastante estable en el generador de vapor, pero no es inmune a lo ya señalado más arriba. Se debe a que puede reaccionar con el cloruro sódico, el cual suele estar presente en los generadores de vapor en cantidades apreciables para dar el cloruro de magnesio.



El cloruro de magnesio así formado puede entonces descomponerse conforme a la primera reacción. Esta descomposición facilitara la producción de más cloruro de magnesio, ya que la reacción expresada entre el sulfato de magnesio y el cloruro sódico continuará gradualmente hasta su terminación. Reacciones parecidas tienen lugar con el nitrato y cloruro de calcio, de acuerdo con estas reacciones:



En estas reacciones se producen hidróxidos (o hidratos) de magnesio y calcio. Estos no son de desear en el generador de vapor. El hidróxido de magnesio precipitado es muy ligero y floculento y está expuesto a ser arrastrado por el vapor si se aumenta rápidamente la carga, con los consiguientes inconvenientes sobre válvulas y turbina. El hidróxido de calcio puede depositarse en el generador de vapor en forma de incrustación dura.

### **CORROSIÓN POR BÍOXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>).**

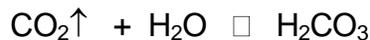
La corrosión en el sistema precaldera es un problema común en los sistemas de generación de vapor, su manifestación más generalizada es el elevado mantenimiento requerido para reemplazar y reparar tuberías y equipo del sistema de vapor y condensado.

Otra manifestación, pero no tan notoria es la creación de productos de corrosión tales como óxido férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) el cual causara depósitos y una serie de problemas inherentes a ello.

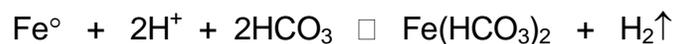
El sistema post - caldera está sujeto al ataque de muchos y variados mecanismos de corrosión siendo los más comunes el pH bajo causado por el dióxido de carbono, así como el ataque por oxígeno. El dióxido de carbono se forma por la descomposición de los carbonatos y bicarbonatos presentes en el agua de la caldera como se indica:



El bióxido de carbono presente en el condensado se combinará con éste para formar ácido carbónico.



este ácido carbónico bajará el pH del condensado ocasionando una corrosión por bajo pH ver Figuras Nos. 6 y 7, además reaccionará con el hierro formando bicarbonato ferroso:



Cuando el oxígeno y el dióxido de carbono se encuentran presentes, la corrosión procederá en forma más energética y rápida a no ser que se elimine el CO<sub>2</sub>, este proceso será perpetuo:

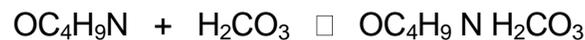


## CONTROL QUIMICO DEL CO<sub>2</sub>

Para eliminar el efecto corrosivo del dióxido de carbono se emplean inhibidores de dos tipos, formadores de película y neutralizantes.

### INHIBIDORES NEUTRALIZANTES

El CO<sub>2</sub> disuelto dará al condensado una reacción ligeramente ácida. El mejor tratamiento para corregir tal acidez es añadir aminas, éstas normalmente se denominan aminas neutralizantes o volátiles y actúan neutralizando el ácido carbónico, elevando el pH. La morfolina y la ciclohexilamina, son las aminas neutralizantes más usadas, se incluyen también la dietanolamina y dicitclohexilamina. El amoníaco también es usado con ésta clase de inhibidores ya que su método de prevención de la corrosión en el sistema precaldera es neutralizar el ácido carbónico incrementando el pH. La reacción para la morfolina es la siguiente:



Las aminas difieren en costo, reacción y relación de distribución vapor - líquido. La relación de distribución (Relación de Concentración en el vapor respecto al condensado) es importante porque controla la cantidad de material presente. Las Figuras Nos. 8 y 9, muestran la relación de distribución para varios productos. Una utilidad muy interesante de las aminas neutralizantes es la prevención de la corrosión en el extremo húmedo de las turbinas. En esta sección la humedad condensada y la alta velocidad, tienden a eliminar la película protectora de óxidos, siendo necesarios mantener un pH alto en esta zona. La morfolina es particularmente útil con este propósito porque es menos volátil que la ciclohexilamina

### **INHIBIDORES FILMICOS**

Otras aminas ampliamente utilizadas son las fílmicas que funcionan de manera distinta a las neutralizantes, en vez de neutralizar el bióxido de carbono, forman sobre la superficie metálica una película que actúa como barrera entre el metal y el condensado protegiendo al primero del ataque del oxígeno y del bióxido de carbono.

Su dosificación deberá ser continua y una vez formada la película, esta es durable y no se elimina en períodos cortos de suspensión del tratamiento.

Las aminas fílmicas de valor en la prevención en la corrosión, son aminas de alto peso molecular con cadenas rectas conteniendo de 10 a 18 átomos de carbono tales como la octadecilamina ( $C_{18}H_{37}NH_2$ ), la hexadecilamina ( $C_{16}H_{33}NH_2$ ) y la dioctadecilamina ( $C_{36}H_{74}NH$ ).

La película de las aminas fílmicas, por ser muy delgada no impide la transmisión de calor y aparte de lo anterior, tienen la habilidad de remover depósitos antiguos productos de la corrosión.

### **CORROSION CAUSTICA (FRAGILIZACION CAUSTICA)**

El Ataque Cáustico es un fenómeno corrosivo originado por la presencia en el agua de caldera de excesivas cantidades de hidróxido de sodio, particularmente en calderas de muy alta presión, esta corrosión puede presentarse como resultado de las siguientes reacciones:



Las concentraciones normales de hidróxido de sodio presente en el agua de caldera usualmente no son perjudiciales, sin embargo, el hidróxido de sodio puede concentrarse en áreas localizadas como son los depósitos porosos. También puede presentarse en la superficie de tubos de caldera que tengan relativamente baja transmisión de calor en donde el agua que rodea a la burbuja se concentra rápidamente, la concentración de hidróxido de sodio puede llegar a un punto en donde la capa de magnetita se disuelve y el tubo es atacado formándose ferrito de sodio que es arrastrado, posteriormente, ya en agua normal de caldera el ferrito se hidroliza a magnetita. La prevención del ataque cáustico requiere un efectivo control de alcalinidad y depósitos.

Los efectos de la fragilización cáustica han sido conocidos desde hace tiempo, este tipo de ataque normalmente no es fácil de detectar por lo que una falla por esta causa ocurre inesperadamente y a veces con resultados catastróficos. Para que se presente la fragilización cáustica se requiere la presencia de tres factores:

1. El escape de vapor y la consecuente concentración del agua de caldera en el punto de la fuga.
2. El ataque del metal por la sosa cáustica concentrada.
3. La presencia de elevados esfuerzos metálicos en las áreas de concentración y ataque.

La fuga y concentración del agua de la caldera puede ocurrir en el rolado de los tubos, la concentración salina en esos puntos puede ocasionar cantidades hasta de 50000 a 75000 ppm de NaOH, a estas concentraciones el ataque cáustico se presenta. El rolado de los tubos presenta áreas de esfuerzos en donde el ataque puede ocurrir.

Se ha investigado intensamente el origen de este fenómeno y dentro de sus causas se considera que existe evolución de hidrógeno, el hidrógeno naciente es absorbido por el metal; el hidróxido de sodio actúa sobre el metal disolviendo el cemento

amorfo intercrystalino y el hidróxido de sodio ocasiona también una cristalización, entendiéndose por ella la coalescencia de los pequeños cristales a grandes. La Figura No.9, muestra una placa metálica que ha sufrido la fragilización cáustica.

La protección contra este fenómeno se ha logrado mediante la adición a la caldera de nitrato de sodio en la cantidad necesaria para mantener una debida relación con respecto al hidróxido de sodio presente. La relación recomendada dependiendo de la presión de la caldera es la siguiente:

<b>Presión</b>	<b>Relación de <math>\text{NaNO}_3/\text{NaOH}</math></b>
mayor de 250 psi	0.20
mayor de 400 psi	0.25
mayor de 700 psi	0.40

### **REDUCCION DE HIDROXIDOS**

Con objeto de reducir a un mínimo la corrosión cáustica se han desarrollado varios tipos de controles químicos para aplicarse a unidades operando a una presión de 600 psi y más, entre ellos se encuentran los siguientes:

### **CONTROL DE PRECISION**

Es el más antiguo, descrito por primera vez en 1948 por el Dr. Hall. Este tratamiento consiste en mantener una pequeña cantidad residual de ortofosfatos del orden de 2 a 4 ppm, y 15 a 50 ppm de hidróxido de sodio. El control de precisión fue originalmente diseñado como un medio para prevenir la formación de lodos de fosfato de magnesio sobre las superficies de los tubos evaporativos y reducir la concentración de la sílice soluble en el agua de la caldera. Algunos operadores encontraron que los altos niveles tradicionales de fosfatos en el agua de la caldera originaban depósitos de lodos tenaces cuando se presentaban fugas en el condensador. La razón se debía a que el fosfato era capaz de competir

satisfactoriamente con la sílice para reaccionar con el ion magnesio, con el resultado del depósito del fosfato de magnesio nocivo.

El Dr. Hall encontró que a bajas concentraciones de fosfatos, el magnesio precipitaba casi exclusivamente en forma de silicato de magnesio, menos adherente.

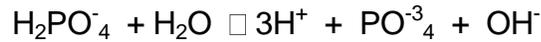
Con este control se mantiene un residual de hidróxido de sodio libre debido a que cuando se forma el lodo, tiende a permanecer fluido en el medio alcalino.

A medida que las calderas incrementaron su presión y correspondientemente las temperaturas del metal, los operadores encontraron que cuando se concentraba el hidróxido de sodio particularmente sobre las superficies calientes o debajo de los depósitos ocasionados por productos de corrosión, dicho hidróxido no solamente no retardaba la corrosión sino que la aceleraba. Este fenómeno, comúnmente conocido como "Ataque Cáustico" y caracterizado por grandes picaduras o acanalamientos, dio lugar a serias dudas sobre la conveniencia de alimentar sosa cáustica a las calderas de alta presión. Después de una investigación de 50 plantas, se encontró que a presiones arriba de 1400 psi, la incidencia de ataque químico estaba ligada a la concentración de hidróxidos en el agua de la caldera.

### **CONTROL COORDINADO pH - FOSFATOS**

El Control Coordinado de pH - fosfatos, recomendado por Purcell y Whirl, fue usado por H.A. Klein, P. Goldstein y otros, los cuales ajustaron la química del agua de la caldera para asegurar el balance fosfato - álcali aproximadamente a la hidrólisis estequiométrica de fosfato trisódico, para la prevención de la fragilización cáustica.

Este control llamado control coordinado pH - Fosfatos, depende de la alimentación de mezclas de ortofosfato o mezclas de sosa cáustica y fosfato disódico para controlar el pH y mantener en el agua un buffer. El fosfato Monosódico, Disódico y Trisódico puede cumplir este propósito por su habilidad de hidrolizarse a  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ , y establecer un equilibrio entre estas formas, en conjunción con concentraciones de  $\text{OH}^-$  o por inferencia, del pH. Las reacciones que acompañan a este compuesto son las siguientes:



En aguas que contienen bajas concentraciones de sólidos disueltos diferentes al fosfato de sodio, el equilibrio entre las diferentes formas de ion fosfato puede ser utilizado para controlar la acidez o alcalinidad de todo el sistema. La relación de un fosfato a otro puede ser controlada para producir alguna relación deseada de sodio/fosfato ( $\text{Na}/\text{PO}_4$ ). Si todo el fosfato está presente en la forma de fosfato trisódico la relación es 3.0. Justamente abajo de este nivel no habrá hidróxido libre presente. El término "Libre" hidróxido de sodio o sosa libre definen la cantidad de hidróxido de sodio en exceso del derivado de la hidrólisis de fosfato trisódico de acuerdo a la reacción siguiente:



La Figura No.10, muestra la relación entre la concentración de fosfato y pH a 25°C para el fosfato trisódico. Esta curva es la base para el control coordinado pH - Fosfatos. La teoría se basa en que si no hay sosa libre en el agua de la caldera, el ataque cáustico no puede ocurrir. Este medio retarda la velocidad del ataque, pero continúa presentando un daño de apariencia similar al ataque cáustico.

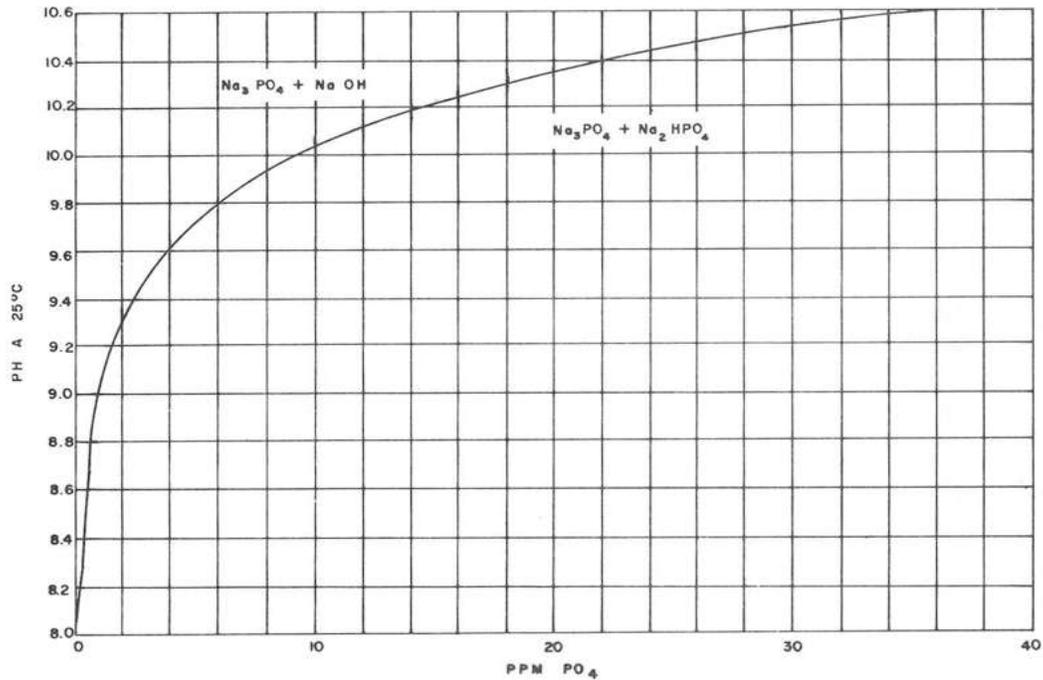


Figura No. 10 Relación fosfato - pH.

Las primeras adaptaciones de la curva de Purcell y Whirl se hicieron para usarse en los valores de pH de 10 a 10.6 lo que quería decir que el fosfato residual debería mantenerse entre 15 y 50 ppm. A presiones superiores a las 2000 psi estas concentraciones pueden ocasionar arrastres y pérdidas en eficiencia de la turbina. Lux y Klein subrayaron la necesidad de controlar las condiciones del agua de la caldera en el extremo inferior de la curva. Lux sugiere 10 ppm como límite superior para fosfatos.

### CONTROL CONGRUENTE

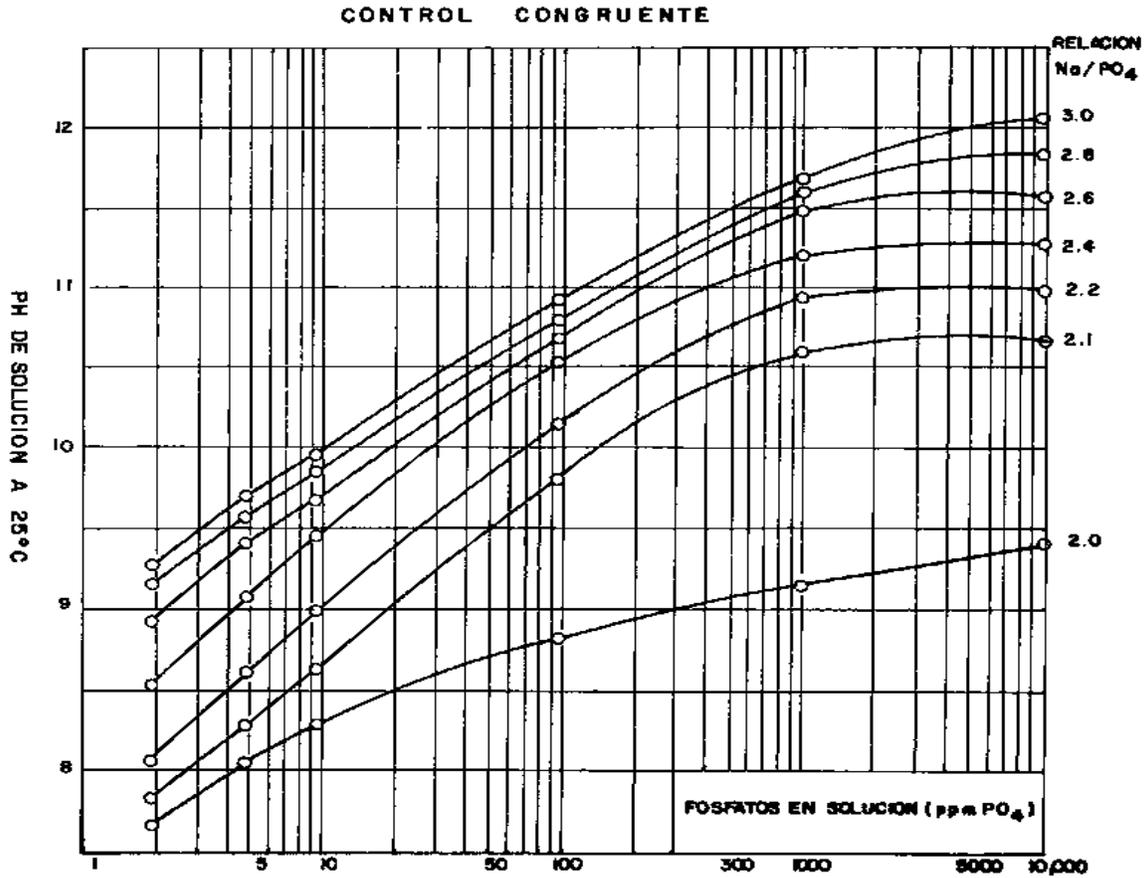
La corrosión cáustica se continua presentando aún cuando se observe estrictamente el control coordinado pH - fosfatos. Se han propuesto varias explicaciones a ello y la más aceptada establece que al precipitar el fosfato de una solución sobresaturada no lo hace exclusivamente como fosfato trisódico sino como fosfato trisódico y disódico con el resultado de que el agua de caldera contendrá un exceso de hidróxido de sodio libre. Las composiciones congruentes, aquellas en las cuales la fase sólida es igual a la fase líquida, corresponden a las relaciones molares de sodio a fosfatos de 2.65 a 689°F y de 2.85 a 572°F para presiones de 1200 a 3000 psi. Se prefiere mantener la relación Na/PO<sub>4</sub> debajo de 2.6 por considerarse segura para todas las calderas tipo domo.

A temperatura de 117°C, el fosfato trisódico presenta una solubilidad retrograda, La cual es una propiedad que hace posible el enmascaramiento. El enmascaramiento de fosfato es indeseable porque puede incrementar la temperatura de la pared de los tubos de agua y causar fallas similares a los presentadas por otros deposito.

La precipitación del fosfato y la formación de sosa libre puede también ocurrir si el agua de la caldera es totalmente evaporada en una área o es altamente concentrada bajo depósitos de superficie poroso.

El control congruente, se usa cuando el enmascaramiento puede ocurrir, este control es similar al control coordinado pH - Fosfatos, excepto que la relación de sodio/fosfato es intencionalmente controlada a un valor específico, usualmente 2.6 a 2.8 justamente bajo 3.0. La figura No.11, muestra una familia de curvas de pH - PO<sub>4</sub>

No.	RAZON DE MEZCLA		RAZON MOLAR Na/PO <sub>4</sub>
1	1.0	0	3/1
2	0.9	0.1	2.9/1
3	0.8	0.2	2.8/1
4	0.7	0.3	2.7/1
5	0.6	0.4	2.6/1
6	0.5	0.5	2.5/1
7	0.4	0.6	2.4/1



**Figura No.11 Curvas pH-PO<sub>4</sub>.**

Usando estas curvas es posible controlar la relación en algún punto deseado. El concepto de mantener una relación específica de 2.6 asegura que no habrá solución cáustica en el momento de la precipitación del fosfato. En esta situación el sodio y fosfato invariablemente dejara la solución en tal proporción que la solución remanente tenga una relación de sodio/fosfato menor que la solución original, por lo tanto sin hidróxido de sodio libre.

Dependiendo de los contaminantes que entren a la caldera se puede mantener el control entre estos límites por adiciones adecuadas de ácido fosfórico, fosfato monosódico, disódico o trisódico, sosa cáustica o mezcla de estas sustancias químicas.

### **TRATAMIENTO VOLATIL O DE AGUA PURA**

Es el tratamiento más reciente por el cual no se mantiene ningún sólido en el agua de la caldera, el pH de la caldera se mantiene con la alimentación de amoníaco o de una amina volátil (morfolina o ciclohexilamina). Es recomendable este tipo de control para todos los generadores de vapor que operan a presiones superiores a 1200 psi.

El tratamiento volátil ofrece una mejor seguridad contra los depósitos en sobrecalentadores y turbinas, los cuales podrían resultar de un arrastre intermitente. La única desventaja de este tipo de tratamiento es el hecho de que el agua de la caldera no tiene "buffer" y está sujeta a cambios relativamente rápidos en el valor del pH del agua de la caldera si llegase a ocurrir una contaminación. Cuando se desee aprovechar las ventajas del control volátil, debe ponerse énfasis especialmente en la rápida detección de fugas en el condensador y también deberán proveerse alarmas que aseguren que los valores del pH del agua de la caldera nunca disminuyan por debajo de la neutralidad durante un período de tiempo significativo.

### **CORROSION BAJO ESFUERZO**

El esfuerzo combinado de fenómenos corrosivos y esfuerzos mecánicos causa la fragilización del metal y su falla a esfuerzos mucho menores que los esperados para ello en medios no corrosivos. Los tubos de una caldera están sujetos a esfuerzos que se originan durante su rolado así como durante los arranques y paros.

### **ATAQUE POR HIDROGENO**

Este tipo de ataque actúa sobre la estructura interna del metal haciéndolo quebradizo. Bajo condiciones de elevada temperatura, el hierro reacciona con el agua conforme a la reacción:



Aparte de lo anterior también puede existir hidrógeno como resultado de la pasivación catódica.

Los átomos de hidrógeno pueden penetrar en el metal debido a sus pequeñas dimensiones y reaccionar con el carbono de la aleación produciéndose metano:



Las moléculas del gas metano son de dimensiones mayores por lo que ocasionan presiones internas que separan los granos del metal. Este tipo de ataque normalmente se asocia con la presencia de sales formadoras de ácido como el cloruro de magnesio previamente de fugas en el condensador y contaminación del agua de alimentación a la caldera, también con depósitos porosos de magnetita que ocasionan sobrecalentamientos y con un deficiente control de pH.

### ATAQUE ACIDO

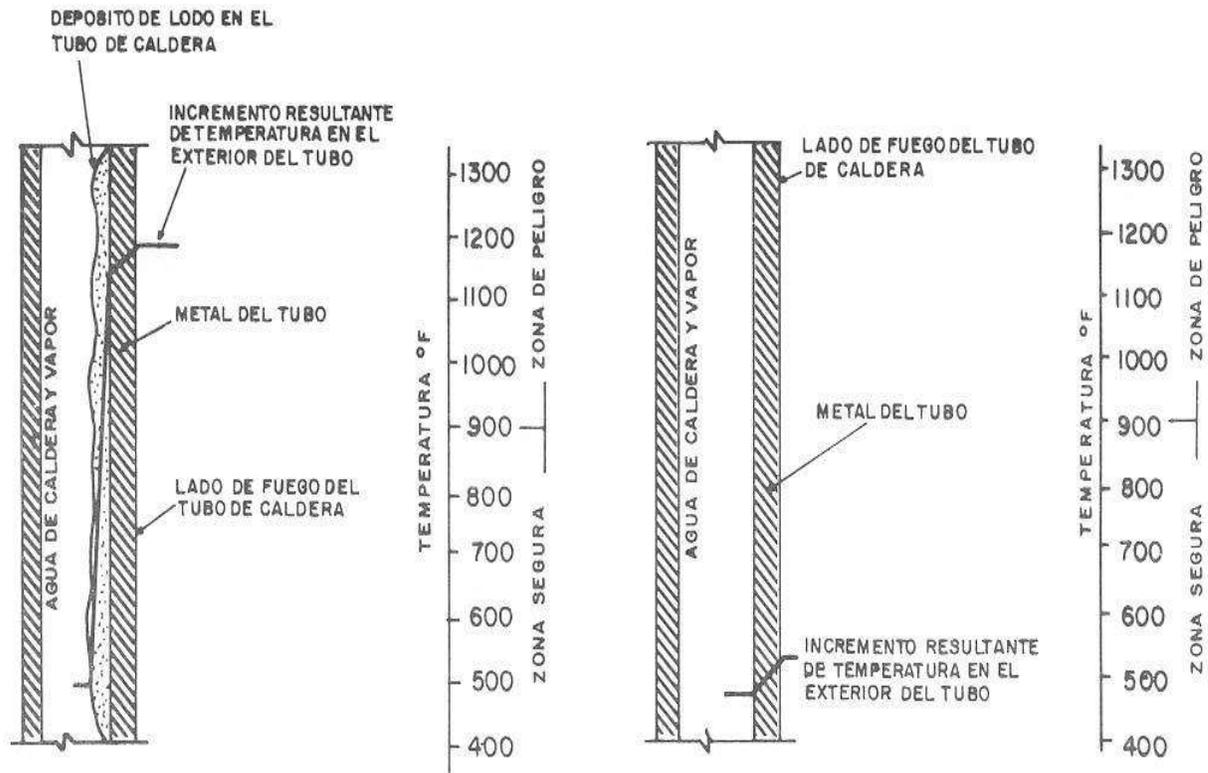
La presencia de ácidos orgánicos o minerales dentro del agua de la caldera ocasionará una corrosión extremadamente severo y la formación de grandes cantidades de depósitos. Si el pH llega a ser inferior a 8.5, se recomienda sacar de servicio la unidad, se neutralice, drene o inspeccione. Como se mencionó con anterioridad, la entrada de cloruros de magnesio por contaminación en el condensador, ocasionará una reacción entre los iones de magnesio y los hidroxilos:



El cloruro de magnesio, en presencia de depósitos en la superficie de la caldera puede originar celdas de concentración de ácido clorhídrico con todas las consecuencias correspondientes.

### DEPOSITOS

Los depósitos en un generador de vapor tienen dos efectos nocivos, por una parte, como se muestra en la figura No.12, disminuyen la transmisión de calor y originan sobrecalentamientos que pueden alterar seriamente las características del metal haciéndole perder su resistencia mecánica, por otra parte favorecen condiciones ideales para la presencia de fenómenos corrosivos.



**Figura No. 12 Efectos de los depósitos en la transmisión de calor.**

La acumulación de sólidos que han precipitado en el seno del agua del generador de vapor o que han entrado con el agua de alimentación como sólidos suspendidos se denomina comúnmente depósito o lodo y su adherencia no es grande siendo por lo tanto blandos, sin embargo el calor retenido por su acción aislante tiende a cocinarlos transformándolos en un material denso y duro que se denomina incrustación, dentro de las incrustaciones también se incluyen las estructuras cristalinas y de composición homogénea que se forman sobre la superficie metálica debido a la precipitación en ese punto de sales originalmente disueltas en el agua del generador de vapor.

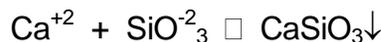
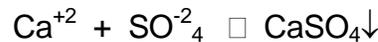
La precipitación de las sales solubles en el agua del generador pueden deberse a cambios químicos en el agua al pasar de agua de alimentación a agua de caldera y también a la característica de solubilidad inversa de algunas de las sales. Un caso de precipitación por cambio químico en el agua es la conversión del bicarbonato de calcio a carbonato de calcio:



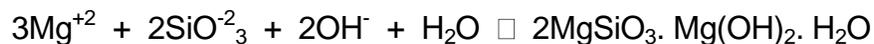
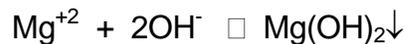
La solubilidad del  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  a  $25^\circ\text{C}$  es aproximadamente de 300 a 400 ppm mientras que la del  $\text{CaCO}_3$  es de 14 ppm aproximadamente.

Los depósitos en calderas han sido tradicionalmente asociados con el calcio y el magnesio. Conforme se hicieron más complejos los generadores de vapor y se aumentó la presión de operación, se perfeccionaron tratamientos externos para la eliminación de la dureza y a la vez aumentó la importancia de sustancias tales como hierro, cobre, sílice y aluminio.

El calcio se deposita como carbonato, sulfato o silicato formando en el punto de precipitación una estructura cristalina definida, el carbonato de calcio usualmente se presenta como lodo que puede endurecerse en la caldera, el sulfato de calcio forma una incrustación dura y adherente, los compuestos de sílice y calcio como la pectolita y la xenolita forman incrustaciones muy duras.



El magnesio precipita como hidróxido denominado brucita, tiene consistencia lodosa, de existir suficiente sílice, la brucita se transforma en serpentina.



Los silicatos de hierro y aluminio también forman incrustaciones duras, adherentes, aislantes y difíciles de remover. Los silicatos complejos forman parte de las incrustaciones más duras encontradas en las calderas y que también tienen propiedades fuertemente aislantes. La Figura No.13, muestra las conductividades térmicas de varios materiales e incrustaciones. La formación de los silicatos complejos ocurre a muy elevadas temperaturas en reacciones que toman lugar sobre las superficies del tubo. Los depósitos de cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) también pueden encontrarse en las calderas cuando se permiten elevadas concentraciones de sílice en el agua de la caldera, el cuarzo forma una incrustación muy dura y aislante.

Los productos de corrosión del sistema vapor – condensado - agua de alimentación, tales como óxidos de hierro y cobre son precipitados en la caldera creando otra fuente de depósitos, los óxidos de hierro, los fosfato básico de magnesio, la sílice, el aceite y algunos compuestos orgánicos actúan como aglomerantes que atrapan lodos no adherentes y forman depósitos de consideración.

INCRUSTACION Y OTROS MATERIALES	COND. TERMICA Kcal/mh°C
HOLLIN	0.06 –0.1
ACEITE	0.1
INCRUSTACION DE SILICATOS	0.02 – 0.4
INCRUSTACION DE CARBONATOS	0.4 – 0.6
INCRUSTACION DE SULFATOS	0.1 – 2
ACERO	40 - 60

**Figura No. 13 Conductividades térmicas de varios depósitos.**

## **CONTROL DE DEPOSITOS**

### **FOSFATOS.**

Para evitar que las sales de calcio y magnesio formen una incrustación en la caldera, el tratamiento interno deberá precipitarlos como lodos, manteniéndose este lodo en forma fluida para eliminarlo mediante la purga. La eliminación del calcio se considera más problemática que la del magnesio ya que éste precipita por la alcalinidad del agua de caldera formando un lodo de hidróxido de magnesio. La sustancia química más comúnmente empleada para la precipitación de las sales solubles de calcio son los fosfatos mono, di y trisódicos así como los polifosfatos; una vez que ellos entran a la caldera todos actúan en la misma forma, se convierten en fosfato trisódico y como tal reaccionan con el calcio para formar fosfato tricálcico que es un lodo no adherente. Para que esta reacción tenga lugar, deberá existir suficiente alcalinidad en el agua de la caldera para mantener un pH superior a 9.5 y asegurar la precipitación del fosfato tricálcico, los fosfatos mono y dicálcicos son precipitados adherentes difíciles de eliminar por la purga.

La dosificación del fosfato se debe efectuar directamente al domo superior ya que, por la rapidez de la reacción con el calcio, si se dosifican en la línea de agua de alimentación pueden ocasionar precipitaciones adherentes difíciles de eliminar por la purga.

El fosfato trisódico y el disódico tienen características alcalinas y el monosódico así como el hexametáfosfato las tiene ácidas, dependiendo de la alcalinidad presente en el agua de la caldera y de los límites establecidos para ella, al precisar la dosificación de fosfatos se seleccionará su tipo conforme al efecto que se desee con respecto a la alcalinidad.

La dosificación de fosfatos no es continua sino que se dosifican de manera tal que siempre se mantenga un residual de fosfato dentro de ciertos límites, superior e inferior.

### **ARRASTRES (CONTAMINACION DEL VAPOR)**

Los términos arrastre, espumeo y hervido violento se encuentran asociados y cada uno describe condiciones que causan la entrada de agua de la caldera al vapor. Por espumeo se entiende la condición restante de la formación de burbujas en la superficie del agua de la caldera.

El hervorido violento es una acción enérgica y esporádica que tiene como resultados salpicaduras de agua de la caldera hacia el vapor.

El arrastre es el término aplicado a la entrada continua de pequeñas cantidades de agua de caldera en el vapor.

Efecto de la contaminación del vapor cuando el agua de caldera es arrastrada con el vapor: existirán depósitos en válvulas, sobrecalentador, tubería de vapor y máquinas o turbinas. Tales depósitos pueden ocasionar la falla del sobrecalentador y la disminución en la eficiencia de la turbina, aparte de lo anterior pueden ocasionar serios problemas en las válvulas de gobierno al impedir por obstrucción que actúen debidamente.

El espumeo y el hervorido inicial del agua de caldera puede ocasionar una lectura falsa del nivel del agua y la presencia de cantidades grandes en el vapor ocasionará choques térmicos que pueden perjudicar al equipo.

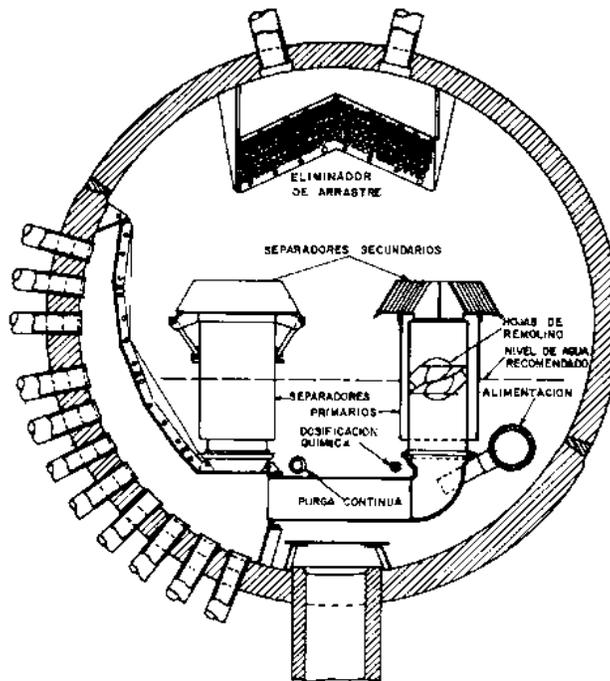
Debe también considerarse que la humedad arrastrada con el vapor ocasiona una pérdida en la eficiencia térmica.

### **CAUSAS DE LA CONTAMINACION DEL VAPOR**

La contaminación puede resultar por causas mecánicas o químicas o por una combinación de ambas.

#### **CAUSAS MECANICAS**

Dentro de las causas mecánicas se incluye el diseño de los generadores de vapor o caldera, la operación con elevados niveles de agua, el procedimiento de encendido y la característica de la carga. El domo de vapor de cualquier generador de vapor debe ser diseñado para prever suficiente volumen a baja velocidad permitiendo la separación del agua y el vapor antes de que este último deje la caldera. El diámetro del domo debe ser tal que permita mantener una producción de vapor abajo de 7000 a 8000 Lbs/Hr/pie<sup>2</sup> de superficie al nivel de agua de operación. Como se muestra en la Figura No.14.



**Figura No.14 Domo superior de un generador de vapor**

El domo de la caldera debe contener eliminadores de arrastre o parrillas secadoras, mamparas, secadores centrífugos, separadores secundarios, etc. Cada elemento debe mantenerse correctamente instalado, 1/4 de abertura entre las secciones de una mampara ocasionará el paso del agua en cantidades tal que los separadores centrífugos no trabajarán, la presencia de depósitos en la parrilla secadora o en los separadores secundarios impedirán su correcta operación.

Ya que el tamaño del domo es constante, el nivel de agua de operación determina el espacio de separación vapor - líquido, cuando este nivel es excesivamente alto el área de separación y el volumen disminuyen resultando una contaminación continua del vapor.

Cuando el diseño mecánico es satisfactorio y sin embargo se presentan arrastres, estos frecuentemente se deben a una operación con una carga de vapor superior a la de diseño, lo cual puede suceder continua o intermitentemente cuando esta demanda de vapor es excesiva o brusca por unos momentos se bajará la presión en el domo lo que ocasionará una ebullición violenta y la consecuente contaminación.

Un mal control en la flama causará una generación localizada y excesiva de vapor y la contaminación correspondiente. La diferencia en peso específico entre el vapor y el agua disminuye (figura No.15), conforme la presión de operación y la temperatura de saturación aumenta. La menor diferencia en densidades incrementa la dificultad de separar el vapor y el agua de caldera por lo que en unidades de alta presión es necesario controlar con mayor exactitud todos los parámetros que acentúen este problema.

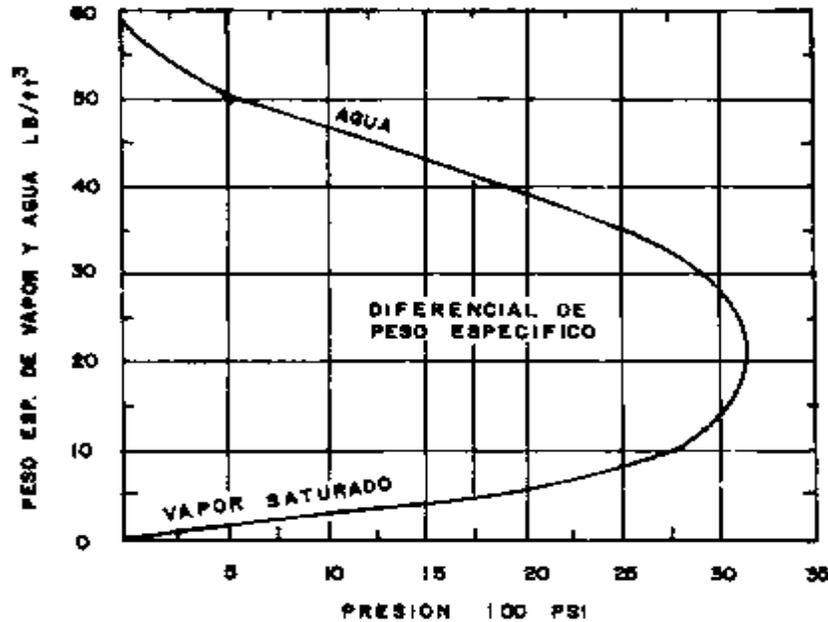


Figura No.15 Curva de presión contra peso específico.

### CAUSAS QUIMICAS

La separación de las gotas de agua del vapor es una función de la tensión superficial del agua. Ella afecta el tamaño de las burbujas y la facilidad con la cual colapsa; una baja tensión superficial tiene como resultado la formación de pequeñas burbujas que tratan de estabilizarse en el domo. Entre las causas químicas que incrementan la contaminación de vapor se incluye la alcalinidad, los sólidos disueltos y la materia orgánica.

La tabla No. 5, muestra los límites que conforme a pruebas ha establecido la Sociedad Americana de Fabricantes de Calderas para los sólidos disueltos y los sólidos suspendidos. Estos límites se establecieron como guías y dentro de ellos una caldera puede producir un vapor que contenga un máximo de 1 ppm de sólidos totales disueltos; lo anterior quiere decir que este vapor, con un contenido de sólidos disueltos sea adecuado para la operación de turbinas y para enfriar el sobrecalentador.

TABLA NO. 5  
LÍMITES DE SÓLIDOS DISUELTOS EN CALDERA

PRESION DE OPERACIÓN PSIG	SOLIDOS TOTALES PPM	ALCALINIDAD TOTAL PPM	SOLIDOS SUSPENDIDOS PPM
0 –300	3500	700	300
301 – 450	3000	600	250
451 – 600	2500	500	150
601 – 750	2000	400	100
751 – 900	1500	300	60
901 – 1000	1250	250	40
1001 – 1500	1000	200	20
1501 – 2000	750	150	10
2001	500	100	5

El efecto de los sólidos disueltos, los sólidos suspendidos y la alcalinidad sobre la contaminación de vapor se ha extendido extensivamente y tal parece que no está totalmente explicado pero si se reconoce que la viscosidad, la tensión superficial y la presión de vapor a la vez que influyen en el arrastre son influenciados por los parámetros anteriormente mencionados.

Para combatir las causas químicas en la contaminación de vapor se precisará la alimentación de un agua de repuesto con las características adecuadas, un control en purgas y dosificaciones adecuadas para el problema específico que se presente.

Cuando se genera vapor a una presión mayor de 600 psi muchos sólidos disueltos en el agua de la caldera empiezan a volatilizarse y son arrastrados como materia disuelta en el vapor. El término utilizado para esta contaminación de vapor es el de arrastre volátil y debe ser conocido ya que estos contaminantes pueden depositarse en las turbinas ocasionando severos problemas.

El arrastre volátil no puede evitarse mediante modificaciones operacionales o mecánicas y el único remedio es estabilizar la concentración en el agua de la caldera de los sólidos volátiles o variar los parámetros que influyen en su volatilidad.

El sólido volátil más importante es la sílice aún cuando también deben tomarse en consideración el hidróxido, fluoruro y fosfato de sodio. También ocurre la vaporización de materiales disueltos tales como el amoníaco, bióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, morfina, etc., algunos de ellos pueden tener efectos corrosivos.

Generalmente se acepta que un vapor que contenga menos de 0.020 ppm de sílice como  $\text{SiO}_2$  no ocasionará depósitos de dióxido de silicio en las paletas o álabes de turbina.

### III.DESARROLLO DEL TRABAJO

Una vez descrito el marco teórico el objetivo principal era explicar las condiciones y a las cuales trabajamos, nuestro aporte como ingenieros en estos procesos es eficientar los sistemas con una buena dosificación química para evitar lo antes mencionado corrosión ,arrastres y depósitos e incluso vibraciones en turbina por depósitos y desgaste de alavés de turbina todo esto vasado en conocimiento y experiencia , en proceso se presentan una serie de eventos para lo cual debemos estar preparados para actuar ya que en operación los generadores de vapor son afectados por una serie de variables las cuales debemos identificarlas como son baja de carga, incremento de reposición de agua por rotura de tubos ,contaminación de ciclo agua vapor ,arranques de unidad en frio y en caliente etc.

Una buena elección de los puntos de dosificación asi como la utilización de la concentraciones adecuadas de los químicos a dosificar hacen la diferencia en la vida útil de los equipos esto reflejándose en un buen tratamiento químico por lo tanto ayudas en la economía y rentabilidad de los equipos y procesos así como un desarrollo sustentable de la empresa, tomemos en cuenta que los tratamientos químicos no se reflejan de forma inmediata en los generador y turbinas si no atreves de los años por ello es que debemos estar bien capacitados para realizar y tomar las mejores decisiones a continuación se describen los procedimientos de control del ciclo agua vapor por parte de nuestro trabajo a ejecutar como ingenieros.

## IIV.ANALISIS Y RESULTADOS

### PROCEDIMIENTOS DE CONTROL QUIMICO DEL CICLO AGUA - VAPOR.

Los procedimientos reflejan los requerimientos del ciclo químico, los cuales están basados en los siguiente puntos:

El conocimiento del ciclo agua - vapor,

En los procedimientos internacionales,

En la discusión con los fabricantes de equipo,

En la revisión y la aceptación del Comité de Asesoría de Servicios,

Además esta aceptación, fue apoyada por una Corporación de Servicios y personal del Area Química de 12 Centrales Termoeléctricas y miembros del Comité químico del Instituto Eléctrico Edison (EEI). Incluyen resultados de un monitoreo continuo del ciclo químico en centrales de diferente diseño y condiciones de operación. Son únicos por que evalúan por separado unidades con y sin recalentador; proporcionan valores establecidos y niveles de operación para todos los contaminantes claves del ciclo en el agua del generador de vapor, entre 900 y 3000 psi, incluyendo todos los puntos de muestreo, monitoreando los parámetros de control, valores establecidos y niveles de acción en un diagrama simple del ciclo para cada tipo de generador de vapor y turbina de alta presión y tratamiento químico, mencionando en forma especial los puntos de muestreo, valores establecidos y niveles de acción para cada parámetro, orientado hacia la regulación del componente más afectado por ese parámetro.

Están diseñados para mejorar la eficiencia de operación, reduciendo las pérdidas en el generador de vapor y turbina atribuibles al ciclo químico, al llevar a cabo los objetivos siguientes:

- Reducción de las concentraciones de productos corrosivos.
- Minimizando la entrada de agentes corrosivos.
- Reducción de la formación y arrastres de productos de corrosión.

La filosofía de estos procedimientos para llevar a cabo estos objetivos se basa en un entendimiento de los efectos que causan las impurezas sobre los materiales componentes del ciclo, bajo condiciones de esfuerzo y transferencia de calor y un conocimiento del arrastre químico desde la fuente de producción de las impurezas a través del ciclo agua - vapor. La figura No. 40 nos muestra de manera esquemática las fuentes de contaminación del ciclo agua - vapor.

Los límites necesarios de la composición química en agua y vapor, en volumen, están relacionados con la concentración y comportamiento de los contaminantes o impurezas en la superficie de los materiales componentes del ciclo. La figura No. 41 nos muestra la relación entre la depositación de los contaminantes y la transferencia de calor en paredes de tubos del generador de vapor.

Se deberán de considerar los siguientes factores para el establecimiento de los límites que controlarán el entorno a la superficie del material de los componentes del ciclo, para prevenir la depositación y la corrosión.

- Relación entre la composición química en el ciclo agua - vapor (arrastre mecánico y químico).
- Relación entre las especies analizadas (especialmente iones) y especies moleculares existentes.
- Efectos de transferencia de calor, hervido, condensación, volatilidad, reacciones químicas, ionización y termodinámica y cinética química.

La relación entre la termodinámica y la corrosión a través del ciclo se muestran en la figura No. 42, el cual es un diagrama de Molliere que traza la línea de expansión del vapor para una Central Termoeléctrica de alta presión de tipo convencional.

Las regiones donde las impurezas se concentrarán y favorecerán la corrosión se muestran en este diagrama. Esta gráfica incluye los límites de las zonas de estabilidad termodinámica para cloruro de sodio sólido o diluido. Demuestra que la depositación de cloruro de sodio y corrosión asociada tienen la posibilidad de ocurrir en una región muy estrecha de los últimos pasos de la turbina de baja presión. La localización de la zona donde ocurrirá la depositación del contaminante, es relacionada con las condiciones existentes en la superficie más que a las condiciones existentes en la superficie, que a las condiciones promedio de paso de flujo. La transferencia de calor, estado de limpieza de la tubería, agrietamientos y condiciones de estancamiento de flujo en la superficie, determinan las presiones y temperaturas existentes.

Los procedimientos incluyen valores establecidos y niveles de acción para contaminantes importantes en puntos críticos de muestreo.

Estos niveles de acción para el control de parámetros, en los puntos críticos de muestreo fueron desarrollados para proporcionar una guía de acciones correctivas en las desviaciones del ciclo químico. Estas acciones correctivas fueron establecidas, tomando en cuenta los siguientes criterios:

### **Condición Normal**

Los valores son estables y confiables en todo el ciclo. Se tiene un margen de seguridad establecido a fin de evitar la concentración de contaminantes en la superficie.

- **Nivel de Acción 1.**  
Existe un potencial para la acumulación de contaminantes y para la corrosión. Regresar a condiciones normales en una semana.
- **Nivel de acción 2.**  
Existe una acumulación de impurezas y corrosión. Regresar a condiciones normales en 24 horas.
- **Nivel de Acción 3.**  
Condiciones en las que una rápida corrosión ocurrirá, pudiéndose evitar sacando la unidad de servicio en un lapso de 4 horas.

- **Sacar la Unidad de Servicio Inmediatamente.**

Existe una clara evidencia de un daño acelerado a los tubos del generador de vapor por ácido o hidróxido. Debe sacarse de servicio la unidad inmediatamente para evitar este daño.

Si el problema no es corregido dentro del tiempo establecido para cada nivel de acción, el siguiente nivel entra en operación. En domos del generador de vapor, una manera de regresar de un nivel de acción a otro, es operando a una presión menor.

Los valores establecidos para los niveles de acción 1,2 y 3 fueron realizados para permitir y proveer una guía en condiciones de operación transitorias y anormales. Se establecen los siguientes criterios:

Valores para el nivel de acción.

No. 1.      2 \* Valor de operación normal.

No. 2.      2 \* Valor de operación del nivel No. 1.

No. 3.      Mayor que el valor de operación No. 2.

**Salida de Operación Inmediata.**

Cuando el pH del agua en el generador de vapor es ácida o existen hidróxidos libres.

La operación debe realizarse con los niveles más bajos de impurezas, el menor número de salidas de servicio y éstas de una duración del menor tiempo posible. Durante estas salidas de operación, la acumulación de impurezas en el ciclo o el retorno a condiciones normales de operación puede tardar semanas. Por esta razón, este tiempo se acumula al año y se toma para establecer una guía.

Otra aportación útil del control del daño acumulativo es fijar objetivos anuales para cada parámetro clave, a partir de la concentración normal y medir el tiempo en días de operación de la unidad y registrar todos estos días para todos los parámetros clave. Esto ha sido utilizado para valorar el tratamiento químico de la unidad y

comparar con otras unidades y también como un lineamiento para la limpieza química del generador de vapor.

En adición a las consideraciones mencionadas, el criterio utilizado para definir los valores normales incluye:

- Un tratamiento químico óptimo al vapor y agua para protección del material de los componentes del ciclo, contra la depositación y la corrosión, basado en una revisión de numerosos proyectos de investigación efectuados a diario.
- Límites de detección basados en la capacidad de los analizadores disponibles en el mercado y en los métodos de análisis para las muestras.
- La facilidad de ejecución de prácticas en unidades en operación y el tratamiento de agua.
- En la practica, la cual se basa en poderosas causas de beneficio económico sin imposición de condiciones de operación.

Una revisión de la susceptibilidad de los materiales componentes del ciclo, a la pureza del agua y del vapor, determinó que limitando la concentración de los contaminantes iónicos a través del ciclo a niveles tolerables en el vapor para proteger adecuadamente la turbina, se protege todo el ciclo. Es por eso que el tratamiento químico para todo el ciclo agua - vapor debe satisfacer los requerimientos de pureza de vapor. Las turbinas de baja presión solamente toleran muy bajas concentraciones de sales e hidróxidos en el vapor sobrecalentado.

Partiendo de la composición del vapor en la turbina, la cual es regulada por la solubilidad de las sales e hidróxidos, basados en la línea de saturación y considerando el arrastre mecánico y de vapor, la concentración de impurezas permisibles en el agua del generador de vapor pueden ser determinadas. El arrastre mecánico en la figura 44 y el arrastre de vapor en la figura 45, dependen de la presión y es por eso que los valores determinados como normales de los contaminantes iónicos en el agua del generador de vapor, dependen también de la presión. En conclusión, la relación de los valores normales del agua del generador de vapor como una función de la presión del domo es continua y ha sido desarrollada para minimizar el aspecto económico del control químico del agua. Esta relación es diferente en otros procedimientos; el cambio de los límites es escalonado causando daños innecesarios en algunos generadores de vapor.

Esta aproximación también permite que las unidades tengan la capacidad de variar su carga por la vía del deslizamiento de la presión de operación, para beneficiar la tolerancia de los límites químicos del agua del generador de vapor, cuando se baja la carga por reducción de presión.

La solubilidad de otros compuestos químicos fue tomada en cuenta, además de los considerados para la pureza del vapor en la turbina, para evitar la depositación en los tubos del generador de vapor.

Los valores normales para el tratamiento químico del agua de alimentación del generador de vapor fueron hechos por comparación con los valores químicos del vapor para minimizar el costo de la purga y obtener la máxima eficiencia de la purga como una acción correctiva. Lo anterior es importante, dado que el costo del tratamiento químico del agua y la prevención del ingreso de impurezas al ciclo, es significativamente menor que el costo de la purga. El control químico del agua de alimentación también refleja la necesidad de controlar la corrosión en los sistemas de agua de condensado y alimentación, manteniendo baja la concentración del oxígeno disuelto y un pH apropiado.

Los valores estimados pueden ser calculados para efectuar un cambio apropiado y específico para la unidad, de acuerdo con sus características, donde los límites de la pureza de vapor pueden ser relajados (Por ejemplo en las turbinas de baja presión donde son más altos), y donde el arrastre mecánico ha sido medido y validado y difiere de los valores que se obtienen en la figura 44. La consideración de un flujo mayor de calor en los domos del generador de vapor deberá ser tomado en cuenta cuando se recalculan estos valores. La reducción del 50% de los valores estimados de impurezas, se recomienda para unidades que utilizan combustóleo y que tienen alto ensuciamiento, y se usará el tratamiento volátil (AVT) o para generadores de vapor en donde se conoce que existe una desviación de la ebullición nucleada y que operan cerca del flujo crítico de cal

**V. CONCLUSIONES:** El resultado de un tratamiento químico adecuado se reflejara en la vida útil de las unidades y rentabilidad de la industria electrica en beneficio del desarrollo de México.

**BIBLIOGRAFIA.**

- (1) Libro de referencia de calderas de campo, Calgon, 1981.
- (2) Tratamiento de aguas para plantas termoeléctricas, Mitsubishi agosto 1978.
- (3) Tratamiento químico del agua de la caldera, James McCoy, 1981.