

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA



**EVALUACION TECNICO ECONOMICA DE LA EFICIENCIA
DEL TRATAMIENTO DE AGUA PARA UN SISTEMA DE
ENFRIAMIENTO UTILIZADO EN CACTUS, CHIS.**

IVAN HORACIO MORENO ALFARO

INGENIERO QUIMICO

1979



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA
TESIS 1979
LAB. ~~245~~
ABO. ~~245~~
PERSONA 247
PROC.
S



Jurado asignado
originalmente
según el tema.

PRESIDENTE Prof. JORGE A. HARO CASTELLANOS

VOCAL Prof. CARLOS ROMO MEDRANO

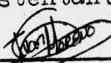
SECRETARIO Prof. JORGE A. CAMPOS ROBLES

1er. SUPLENTE Prof. PEDRO VILLANUEVA G.

2do. SUPLENTE Prof. ROBERTO CONTRERAS R.

Sitio donde se desarrolló el tema: Complejo Petroquímico Cactus

Nombre completo y firma del sustentante :

IVAN HORACIO MORENO ALFARO 

Nombre completo y firma del asesor del tema:

CARLOS ROMO MEDRANO _____

C A P I T U L O I

I N T R O D U C C I O N

La protección contra corrosión e incrustaciones sobre los metales en sistemas de recirculación de agua dulce para enfriamiento, es un problema de enorme importancia económica. Algunas de las muchas medidas correctivas que se han aprobado han sido parcial o totalmente exitosas; otras fracasos completos.

El objeto del presente estudio es llevar a cabo una evaluación de las medidas correctivas utilizadas para un sistema de enfriamiento en Cactus, Chis. En base a los resultados obtenidos en dicha evaluación se pretende determinar un tratamiento de agua mas adecuado para todos los sistemas de enfriamiento que existen en el Complejo Petroquímico de Cactus, Chis.

Los cromatos y bicromatos han sido usados durante varios años para inhibir la corrosión. Estos inhibidores de corrosión han mostrado ser altamente efectivos, pero tienen la desventaja de que cuando se manejan volúmenes grandes de agua, las purgas de los sistemas de enfriamiento descargan tal cantidad de iones cromatos a los ríos o lagunas, que ocasionan un problema de contaminación.

Desde que se empezaron a utilizar tratamientos de agua para los sistemas de enfriamiento en Cactus, Chis., se utilizaron como base los cromatos. Durante mucho tiempo los volúmenes de agua utilizados eran relativamente pequeños y las concentraciones de cromatos descargadas a los ríos no significaban un gran problema de contaminación. Pero a medida que ha pasado el tiempo, el Complejo Petroquímico se ha expandido, ocasionando que cada vez se requieran mas sistemas de enfriamiento y se manejen volúmenes mayores de agua de enfria-

miento, lo que ha ocasionado que las concentraciones de iones cromatos alcancen valores inaceptables para el control de la contaminación.

Debido a la gravedad del problema, se tomó la determinación de cambiar de tipo de tratamiento a uno en base no cromatos y se utilizó dicha medida correctiva como prueba a 120 días en una sola torre de enfriamiento.

CAPITULO II

GENERALIDADES

1.- TIPOS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO.- El agua de enfriamiento empleada en las instalaciones industriales debe reunir determinadas características en lo que respecta a la concentración y tipos de compuestos que normalmente le acompañan, sin embargo, dichos compuestos son característicos de las fuentes de suministro y de la época del año.

Las diferentes fuentes de suministro podemos dividir las fundamentalmente en cuatro tipos :

- A) Agua de lluvia
- B) Aguas superficiales
- C) Agua de mar
- D) Aguas del subsuelo

A) Agua de lluvia.- El agua de lluvia, debería estar libre de contaminantes, pero a medida que se aproxima a la superficie terrestre va contaminándose con gases atmosféricos (O_2, N_2, CO, CO_2) y humos en suspensión, así como de microorganismos, polvo, etc. que normalmente se encuentran en la atmósfera.

Cuando comienza su proceso de percolación a través de las capas superficiales, absorbe más CO_2 formando el hipotético H_2CO_3 , ocasionando un incremento en su potencia solvente y por lo tanto disolverá los compuestos inorgánicos y orgánicos constituyentes de las diferentes capas por las cuales atraviesa y que serán los que le confieran las características con que finalmente se le encuentre.

B) Aguas superficiales.- A este tipo corresponden el agua de corrientes, lagos, lagunas, etc.

Las aguas superficiales están constituidas en su mayor parte por el agua de lluvia, de aquí que los contaminantes que la impurifican sean los característicos de las diferentes zonas por las que atraviesa.

Las aguas de estanque y lagos son susceptibles de purificarse a sí mismas cambiando su calidad, debido sobre todo al reposo parcial a que están sujetas.

C) Agua de mar.- El agua de mar presenta las más altas concentraciones de sólidos disueltos y materia orgánica, de aquí que su uso este limitado, debido al alto costo de tratamiento pues los métodos de evaporación instantánea requieren en la actualidad de enormes inversiones, haciendo que su uso sea muy limitado.

D) Aguas del subsuelo.- Las aguas del subsuelo provenientes de pozos poco profundos pueden ser blandas o duras, dependiendo de la composición del área que les rodea. La filtración natural, hace que estas aguas estén relativamente libres de turbidez y de materia orgánica. Este tipo de agua, generalmente es más blanda que el agua de pozo profundo, pues esta tiene una alta concentración de sólidos disueltos.

En general el agua de pozo es clara e incolora, no así el agua de manantiales que generalmente es afectada por los contaminantes normales de la superficie.

El agua de superficie (ríos, lagos, etc.) generalmente tiene temperaturas acordes con la época del año, en cambio el agua de pozos, se encuentra a aproximadamente medio grado centígrado, por cada 64 ft de profundidad, arriba de la temperatura promedio anual del aire.

2.- IMPUREZAS PRESENTES EN UNA FUENTE DE AGUA CRUDA

Las impurezas que pueden estar presentes en una fuente de agua cruda, las podemos dividir en dos fundamentalmente:

- a) Sólidos disueltos
- b) Sólidos en suspensión

En la siguiente tabla se enlistan las impurezas mas comunes, así como el estado en que se encuentran y los problemas que puede ocasionar su presencia.

IMPUREZAS	ESTADO	PROBLEMA OCASIONADO
Fangos, arcilla y sedimentos	Suspensión coloidal	Olor, incrustaciones y depósitos
Gases disueltos	Gaseoso	Olor
Desperdicios	Suspensión Solución	Corrosión incrustación y ensuciamiento.
Bacterias	Suspensión coloidal	Enfermedades. Productos de corrosión y ensuciamiento
Algas	Suspensión coloidal	Taponamiento, olor, color y ensuciamiento.
H ₂ S	Solución	Corrosión, olor y acidez
Oxígeno	Solución	Corrosión general y localizada
Ca(HCO ₃) ₂	Solución	Incrustación

IMPUREZAS	ESTADO	PROBLEMA OCASIONADO
CaCO_3	Solución	Incrustación.
CaSO_4	Solución	Coágulos insolubles
$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	Solución	Incrustación.
MgCO_3	Solución	Incrustación.
MgSO_4	Solución	Coágulos insolubles.
MgCl	Solución	Incrustación y corrosión
Fe^{++}	Solución y Suspensión	Incrustación y corrosión
SiO_2	Suspensión coloidal	Incrustación
Na_2SiO_3	Solución	Incrustación
Aceite	Suspensión Emulsión	Ensuciamiento
NaHCO_3	Solución	Alcalinidad, corrosión.
Na_2CO_3	Solución	Alcalinidad, corrosión.
NaOH	Solución	Alcalinidad, corrosión.
NaCl	Solución	Corrosión.

Las principales fuentes de suministro en nuestras instalaciones industriales están constituidas por vasos de captación en ríos o por agua de pozos.

El agua proveniente de los vasos de captación, generalmente es sometida a un pretratamiento de clarificación o filtración, con el objeto de eliminarle ciertos sólidos en solución y la casi totalidad de las impurezas en suspensión o emulsión.

3.- ESPECIFICACIONES DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO

Las especificaciones que debe reunir un agua de enfriamiento varían mucho ya que dependerán de la fuente y del uso industrial a que sean destinadas, así como el material del e quipo de enfriamiento.

En términos generales podemos considerar que el agua de enfriamiento debe reunir las siguientes especificaciones generales :

- a) No debe ser corrosiva
- b) No debe formar incrustaciones
- c) No debe causar taponamientos ni depósitos orgánicos o inorgánicos en el equipo.

4.- SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO.- Los sistemas de enfriamiento los podemos clasificar en tres grupos :

- A).- Sistemas de enfriamiento de un paso
- B).- Sistemas de enfriamiento de recirculación abierta
- C).- Sistemas de enfriamiento de recirculación cerrada

A).- Sistemas de enfriamiento de un paso.- Los sistemas de enfriamiento de un paso, se emplean en lugares donde el agua está disponible en grandes cantidades y que requiere de poco o nulo tratamiento, pues una vez empleada se envía al drenaje.

En algunos sistemas de este tipo y cuya agua ha sido traída, se emplea primero en el equipo que requiere mas baja temperatura y el agua de salida de este equipo alimenta al que requiere de mas alta temperatura y así sucesivamente hata lograr las mayores temperaturas, empleándose finalmente el agua como alimentación a calderas o agua de proceso, teniéndose pues con ello un buen ahorro de combustible.

B).- Sistema de enfriamiento de recirculación abierta.- Los sistemas de este tipo se emplean en localidades donde el agua no está disponible en grandes cantidades y consiste fundamentalmente en circular el agua a través de una torre y de aquí al equipo que va a ser enfriado y recirculada nuevamente a la torre.

C).- Sistema de enfriamiento de recirculación cerrada.- Los sistemas de este tipo se emplean para el enfriamiento de máquinas diessel o de combustión interna, donde el agua que enfría este equipo circula a través de un cambiador de calor enfriado por aire o por agua, constituyendo un circuito cerrado.

B).- Sistema de recirculación abierta.- Como se mencionó anteriormente, en localidades donde el suministro de agua es limitado, se hace necesario el máximo aprovechamiento de la misma, de aquí que en este sistema se empleen torres de enfriamiento con ventiladores, ya sea de tiro forzado, inducido ó natural.

Podemos considerar que los principales componentes de un sistema de enfriamiento de recirculación abierta sean :

- B-1.- Ventiladores
- B-2.- Estructura (Armazón)
- B-3.- Cubierta exterior
- B-4.- Vaso de contensión
- B-5.- Equipo de intercambio de calor

B-1.- Ventiladores.- El material generalmente empleado para las aspas de los ventiladores ha sido de acero, sin embargo, el uso de estos materiales ha sido limitado debido a su gran peso, sustituyéndose por aspas de madera laminada y acero, y en ventiladores de hasta 24 pies de diámetro se emplea aluminio colado.

Las necesidades de ventiladores de mayores diámetros han llevado al desarrollo de materiales más ligeros como los plásticos y que tienen las mismas características del aluminio colado.

Los ejes de los ventiladores son de acero, sin embargo, se han efectuado ensayos tendientes a sustituir este material por vidrio reforzado con cubiertas de poliéster, que al mismo tiempo que resuelven el problema de la corrosión incrementan la eficiencia.

Así mismo los cilindros del ventilador que constituyen la parte más costosa debido a su construcción, se están sustituyendo por materiales plásticos.

B-2.- Estructura o armazón.- La estructura o armazón, generalmente es de material de madera, concreto ó plástico.

El relleno de las torres está constituido específicamente por madera ó materiales plásticos. Cuando se trata de madera, esta puede ser de ciprés, pino rojo (redwood) ó ayacahuite. Estas maderas son sometidas a un pretratamiento antes de su uso, con el objeto de hacerlas más resistentes a los ataques químicos y biológicos a que estarán sometidas durante su uso.

Los pretratamientos mas comunes a estas maderas son: Pa rafina clorada, Creosota, Arsenito-cuproamoniacal, Pentaclorofenol, Cromato ácido de cobre, etc.

Sin embargo a pesar de estos pretratamientos la madera es susceptible de ataque durante su uso, si no se tiene un buen cuidado de la misma.

Los materiales plásticos tienden a desplazar a la madera para este fin; Los plásticos mas ensayados han sido del tipo poliéster, polietileno, polipropileno.

B-3.- Cubierta exterior.- La cubierta exterior generalmente es de concreto o de asbesto.

B-4.- Vaso de contención.- El vaso de contención debe ser de concreto.

B-5.- Equipo de intercambio de calor.- El material del equipo de intercambio de calor es muy variado, dependiendo de las características del fluido a enfriar, o del proceso en sí.

Todo este equipo, está sujeto durante su uso a los embates de la corrosión, incrustación y ensuciamiento, de aquí que se haga necesario hacer una breve descripción de la naturaleza de estos fenómenos, antes de entrar en detalle de los factores que los afectan y los problemas que ocasionan.

5.- NATURALEZA DE LA CORROSION, INCORUSTACION Y ENSUCIAMIENTO

CORROSION.- Podemos definir a la corrosión como la destrucción de un metal ya sea por la acción química directa o por la acción electrolítica del metal y el medio que lo rodea.

La corrosión en medio acuoso (que es la que nos importa en este caso), es explicada por la teoría electrolítica como una reacción de óxido-reducción ó intercambio de electrones entre diferentes sistemas. Este intercambio obedece a la tendencia de los elementos a adquirir un estado de menor energía potencial o sea de mayor estabilidad. Esta tendencia la podemos explicar cuantitativamente haciendo uso de la ecuación de Nernst :

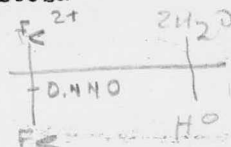
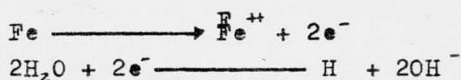
$$E = E_0 + \frac{RT}{N\mathcal{F}} \ln(M)$$

En donde :

- E .- Potencial entre el metal y la solución que contiene sus iones, en Volts.
- E₀ .- Potencial normal del metal, en Volts.
- R .- Constante general de los gases.
- T .- Temperatura absoluta en K
- N .- Valencia del ión metal en solución.
- \mathcal{F} .- Constante de Faraday.
- M .- Concentración iónica del metal.

Entre mas bajo sea el valor de E, mayor será la tendencia del metal a ceder electrones, es decir a disolverse, desde luego que esta tendencia solo será posible cuando haya - presente otro sistema (agua y sales en nuestro caso) que esté en posibilidades de recibirlos por tener un potencial mayor.

En la corrosión en presencia de humedad, el catión que recibe los electrones es el ión H^+ , el cual al descargarse forma hidrógeno atómico y posteriormente hidrógeno molecular, desprendiéndose en el cátodo en forma gaseosa



El agua pura tiene una concentración de iones H^+ igual a 1×10^{-7} y aplicando la ecuación de Nernst, encontramos que el potencial (a 25 °C) es de -0.413, de aquí que solo se disolverán los metales con un potencial menor y si observamos la tabla electromotriz de los metales, vemos que a medida que aumenta el potencial del metal, más pronto se llega al equilibrio, y solo los metales alcalinos se disolverán totalmente.

De lo anterior concluimos que la naturaleza de la corrosión en nuestro caso es netamente electroquímica.

Tipos de corrosión.- De acuerdo con la clasificación de Champión, en términos generales podemos considerar dos tipos de corrosión : corrosión general y corrosión localizada o pitting.

Corrosión general.- La corrosión general es aquella que se presenta uniformemente en la superficie metálica expuesta al medio.

Corrosión localizada.- La corrosión por pitting o localizada es aquella que se presenta en pequeñas áreas localizadas, donde el ancho del ataque es igual o menor a la profundidad del ataque.

Hay otro tipo de corrosión llamada corrosión por grietas o hendiduras y ocasionada por celdas de concentración.

Sin embargo debido a la dificultad de los investigadores en ponerse de acuerdo sobre la clasificación de la corrosión, la consideramos nada más como general o por pitting.

La corrosión por pitting ó localizada, es la mas peligrosa, ya que puede llegar a perforar el equipo ocasionando fugas en el sistema.

INCRUSTACION.- Podemos definir a la incrustación como un recubrimiento denso de materiales predominantemente inorgánicos (SiO_2 , Ca, Mg, CCl_2 , etc.) sobre una superficie metálica, causada por una sobresaturación de sales inorgánicas solubles en el agua de enfriamiento, así una incrustación "pura" estará constituida por mezclas de productos químicos únicamente.

Las superficies metálicas generalmente presentan una rugosidad, y debido a las fuerzas electrostáticas y de cohesión tanto de las partículas de la superficie metálica como de las impurezas incrustantes del agua, hacen que al ponerse en contacto estas con las pequeñas rugosidades, se formen verdaderos agregados intercrystalinos, difíciles de eliminar por medios mecánicos.

ENSUCIAMIENTO.- Podemos definir al ensuciamiento como la acumulación de materiales sólidos inorgánicos y orgánicos sobre una superficie metálica y de naturaleza diferente a la incrustación.

El ensuciamiento también obedece a las fuerzas electrostáticas de atracción y cohesión, sin embargo, la intensidad de éstas no es tan alta como en la incrustación, ya que no llega a formar agregados intercrystalinos y puede eliminarse fácilmente por medios mecánicos.

El ensuciamiento puede ser natural o artificial. El natural es el causado por materiales que existen en el sistema de enfriamiento como resultado de factores externos al mismo, tales como: lodos, arcillas, sedimentos, fibras, etc.

El artificial es el causado por las características del sistema y obedece a variaciones indeseables en la operación del mismo.

6.- FACTORES QUE AFECTAN LA CORROSION, INCRUSTACION Y ENSUCIAMIENTO.

Todos los factores que afectan a la corrosión, incrustación y ensuciamiento están concatenados unos con otros, pero para propósitos de ilustración haremos una división tentativa de los mismos.

Factores que afectan a la corrosión.- Los factores que afectan la corrosión son de muy diversa índole, pero para su estudio los dividiremos en dos tipos principalmente:

1.- Factores debidos a la característica mineral del agua.- Como quedó establecido anteriormente, la corrosión en medio acuoso es un fenómeno netamente electroquímico, de aquí que la concentración de sales inorgánicas disueltas en el agua, desempeñen un papel primordial; desde luego que mientras mas conductor sea el medio acuoso, mayor será la corrosión metálica ya que de acuerdo con la ley de Faraday la cantidad de electricidad que fluye a través de una celda electrolítica es equivalente a la cantidad de corrosión metálica.

Los ácidos, bases ó sales altamente ionizables, disueltos en un agua de enfriamiento, serán los factores determinantes de la corrosión.

Las sales disueltas en el agua actúan como electrolitos y en superficies metálicas con impurezas, formarán celdas locales, en donde las impurezas actúan como cátodo y el metal como ánodo, sufriendo éste último la disolución electrolítica.

2.- Factores que no dependen de la característica mineral del agua.

- a) Metales disímiles
- b) Turbiedad y materia suspendida
- c) Contaminantes de proceso
- d) Contaminantes microbiológicos

a) Metales disímiles.- Es muy común el uso de metales disímiles en un sistema de enfriamiento, sin embargo, este uso conduce a serios problemas de corrosión ya que dan origen a las llamadas celdas galvánicas de corrosión y como se mencionó anteriormente, altas concentraciones de sólidos disueltos en el agua tomarán estas celdas altamente activas.

Metales que normalmente son catódicos pueden también corroerse por el depósito de sales en su superficie formando celdas de concentración localizada y los productos de corrosión de estas celdas darán origen a las llamadas celdas galvánicas de corrosión.

b).- Turbiedad y materia suspendida.- La turbidez y materia en suspensión, se debe a la pobreza del agua de enfriamiento o a la mala operación de los clarificadores.

Al depositarse la materia en suspensión en la superficie metálica (generalmente en zonas de baja velocidad) entrapa determinados electrolitos dando como resultado celdas de corrosión y muchas veces debido a la acumulación de los productos de corrosión y demás depósitos, se llegan a formar verdaderas tuberculaciones.

c).- Contaminantes de proceso.- Muchas veces ocurre que el agua se contamine con algunas corrientes propias del proceso, ya sea por fugas en el equipo o fallas en la operación, dichos contaminantes son hidrocarburos, H_2S , mercaptanos, etc. los cuales de por sí son corrosivos amén de que consumen el cloro usado para el control microbiológico, además de que sus productos de oxidación sirven de alimento a ciertos microorganismos.

d) Contaminantes microbiológicos.- Los microorganismos en un sistema de enfriamiento generalmente son tomados del aire atmosférico empleado por los ventiladores, y en menor escala provienen de la fuente de agua cruda. La presencia de estas impurezas no solamente es indeseable, desde el punto de vista de la corrosión, sino que además son formadores de cienos y babazas.

Desde el punto de vista de corrosión los depósitos de organismos microbiológicos causan celdas diferenciales de ag reacción y celdas de concentración.

Debido a la importancia de estos microorganismos haremos una clasificación puramente funcional

Hongos	{ Mohos Levaduras
Algas	{ Verdes Azul-verdes Depositadoras de SiO_2
Bacterias	{ Formadoras de babaza Sulfato reductoras Depositadoras de fierro Sin problemas

Las condiciones de un sistema de enfriamiento, son tales que permiten el crecimiento y desarrollo de todos estos tipos de microorganismos, y es difícil encontrar un solo tipo o especie dada.

Los hongos son microorganismos extremadamente grandes - comparados con las bacterias.

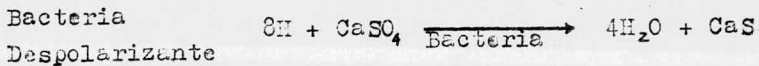
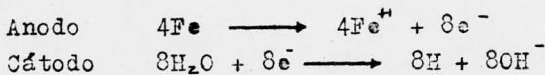
Las algas son capaces de generar sus propios alimentos, en tanto que los hongos y las bacterias no.

Podemos considerar que las bacterias sulfato reductoras son los microorganismos que mas contribuyen a la corrosión, pues se caracterizan por su habilidad en emplear los compuestos de azufre para su proceso metabólico produciendo sulfuros.

A pesar de que estas bacterias son consideradas anaerobias, son muy comunes en sistemas altamente aerados como - las torres de enfriamiento. La presencia de otros microorganismos en forma de depósitos, crean las condiciones necesarias para el desarrollo de las bacterias sulfato reductoras, pues en todos estos microorganismos es común el fenómeno simbiótico.

La acción de las bacterias sulfato reductoras, es semejante a la de un despolarizador en el proceso de corrosión, estas bacterias reducen los sulfatos a sulfuros y como toda ecuación química a la reducción corresponderá una oxidación, tanto los ácidos orgánicos como los hidrocarburos e hidrógeno presentes en el sistema, actuaran como materiales oxidables.

Así como en la corrosión general el oxígeno actúa como un despolarizante desplazando la pequeña película de hidrógeno formada sobre la superficie metálica y dando lugar al agua, las bacterias sulfato reductoras actúan con un mecanismo ligeramente diferente.



El resultado de esta acción es la corrosión localizada o pitting que como vimos anteriormente es la mas peligrosa en un sistema de enfriamiento.

Factores que afectan la incrustación.- Anteriormente definimos la incrustación, ahora mencionaremos los principales factores que la afectan, contándose entre otros :

- a) Velocidad
- b) Clima
- c) Agua de repuesto
- d) Aire
- e) Madera de las torres: ataque químico y biológico

a) Velocidad.- La velocidad específicamente en los cambiadores de calor es un factor determinante para el ensuciamiento, ya que a bajas velocidades del flujo de agua (un pie por segundo) el propio asentamiento natural de la materia -

suspendida ocasiona los depósitos; a velocidades mayores de 3 pies por segundo, si hay depósitos, sin embargo, estos son los vados en parte por el mismo líquido circulante y solo con el transcurso de un tiempo bastante grande ocasionará problemas graves, por la acumulación gradual de dicha materia suspendida.

b) Clima.- Las variaciones del clima debido a los cambios de estación juegan un papel importante en el ensuciamiento, a sí por ejemplo la descomposición de los hongos tipo levadura u otros vegetales, en el otoño o invierno incrementan el contenido natural orgánico del agua, además ciertas bacterias como las sulfato reductoras y las formadoras de babaza en el verano ocasionan mas problemas de corrosión y ensuciamiento que en el invierno.

c) Agua de repuesto.- Las variaciones en las características del agua de repuesto debidas a fuentes externas tales como operaciones de limpieza, drenaje, contaminación, etc., contribuyen grandemente a depositar estos materiales en el sistema de enfriamiento.

d) Aire.- El aire atmosférico que circula en la torre de enfriamiento es factor importante en el ensuciamiento, ya que está constantemente renovándose y lavándose, depositando en el agua: tierra, fibras, gases, microorganismos, etc. que a la postre ocasionarán ensuciamientos en el equipo.

e) Madera de las torres : ataque químico y biológico.- El deterioro de la madera de las torres es también un factor considerable en el ensuciamiento, ya que está constantemente sujeta al ataque químico y biológico de los contaminantes del agua.

La madera de las torres, generalmente está constituida por 50 % de celulosa, 30 % de lignina y 20 % de extractos.

Anteriormente se mencionó que la madera de las torres era sometida a un pretratamiento para preservarla del ataque químico y biológico, sin embargo, debido a los enormes volú-

menos de agua que maneja una torre, con el transcurso del tiempo el agua va lavando los extractos que la protegen, tornando se así susceptible al ataque.

Ataque Químico.- La lignina que constituye a la madera es casi insoluble en el agua, pero en presencia de agentes oxidantes, ó de altas concentraciones de alcalinidad (CO_2 , HCO_3^- , NaOH) forma compuestos que son solubles en el agua, dando por resultado una deslignificación superficial de la madera, dándole a la misma un aspecto blanquecino y fibroso.

La madera superficialmente deja al descubierto la celulosa ó hemicelulosa, la cual es lavada ó desgastada por el paso del agua, desprendiéndose en forma de fibras de hasta 2.5 cm. de largo que se van a depositar al equipode intercambio de calor ocasionando el consabido ensuciamiento y en casos graves hasta taponamiento del equipo.

El cloro empleado en concentraciones superiores a 1 ppm es uno de los principales agentes para el ataque químico de la madera, ya que clora la lignina haciéndola soluble en el agua.

Ataque Biológico.- Los microorganismos como los hongos son los responsables del ataque biológico a la madera, ya que algunos emplean en su metabolismo, celulosa ó hemicelulosa secretando productos enzimáticos que ocasionan una posterior putrefacción de la madera y si estos productos de descomposición junto con las algas, son lavados por el agua, ocasionarán problemas serios de taponamiento y ensuciamiento en el sistema de enfriamiento.

Las maderas que han estado sujetas al ataque biológico generalmente muestran un aspecto negruzco con agrietamientos.

El efecto combinado del ataque químico y biológico a la madera es de funestas consecuencias para un sistema de enfriamiento, tanto desde el punto de vista del ensuciamiento y taponamiento del equipo, como de la madera de las propias torres.

PROBLEMAS OCASIONADOS POR LA PRESENCIA DE CORROSION,
INCRUSTACION Y ENSUCIAMIENTO EN UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.

De acuerdo con lo visto anteriormente, salta a la vista los problemas que ocasionarán la presencia de la corrosión, incrustación y ensuciamiento, en cualquier sistema de enfriamiento, sin embargo, los mencionaremos para tenerlos presentes y darnos cuenta del papel que desempeñan estos sistemas en nuestras instalaciones industriales.

- 1.- Reducción del área de flujo
- 2.- Reducción del área de intercambio de calor
- 3.- Incrementan el uso de agua de enfriamiento
- 4.- Incrementan los costos de bombeo
- 5.- Fallas en el equipo
- 6.- Paros no programados en el equipo
- 7.- Reducen la vida del equipo
- 8.- Evitan el funcionamiento de los inhibidores de corrosión

Todos estos problemas llevan a la pérdida de tiempo y so
bre todo dinero.

7.- CONTROL DE LA CORROSION, INCRUSTACION Y ENSUCIAMIENTO EN UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.

En virtud de que es prácticamente imposible encontrar una fuente natural de suministro de agua, que reúna las especificaciones generales mencionadas con anterioridad, para el agua de enfriamiento, se hace necesario el uso de sustancias químicas que minimicen dichos efectos nocivos en toda instalación industrial.

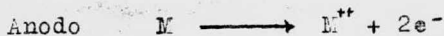
7.1 CONTROL DE LA CORROSION

Como ya conocemos el mecanismo mediante el cual se lleva a cabo la corrosión, es fácil determinar las características que debe reunir un inhibidor de la misma, pues en síntesis debe ser un pasivador de la superficie metálica en contacto con el medio de enfriamiento.

Desde este punto de vista, podemos controlar la corrosión por :

- a) Polarización anódica
- b) Polarización catódica
- c) Polarización combinada

a) Polarización anódica.- Anteriormente vimos que la corrosión en medio acuoso, se lleva a cabo por disolución del metal en las áreas anódicas, es decir



Los iones liberados por el metal en el ánodo son transferidos al cátodo por conducción metálica, siendo consumidos por los cationes presentes en la solución quedando así establecido un flujo de corriente en la celda, precisamente aquí es donde debe intervenir el inhibidor, retardando la reacción anódica, causando la llamada polarización anódica y deteniendo el flujo electrónico.

En general cuando se incrementa la polarización anódica, se disminuye la corrosión del metal, de tal suerte que un inhibidor anódico será tanto mas efectivo cuanto mayor sea su habilidad para inducir la polarización anódica a los mas bajos valores de corriente.

Si se emplean bajas concentraciones de inhibidores anódicos con el objeto de reducir las áreas anódicas en un sistema de reacciones catódicas, se tendrá como resultado una concentración de la corrosión en dichas áreas, intensificándose el ataque localizado o pitting.

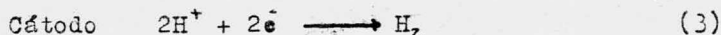
De aquí que estos inhibidores anódicos se deban emplear en cantidades suficientes para asegurar la protección completa y minimizar el pitting, ya que se ha comprobado que los inhibidores de este tipo, en bajas concentraciones actúan como despolarizantes catódicos y en altas concentraciones actúan como despolarizantes anódicos o sea en este caso como verdaderos pasivadores de la superficie metálica.

Entre las sustancias químicas mas importantes como inhibidores anódicos tenemos a : Cromatos, Fosfatos, Ferrocianuros, Carbonatos, Silicatos de metales alcalinos.

De todos estos inhibidores, los mas importantes son los cromatos, cuya acción principal se encuentra en el cromo hexavalente; se ha demostrado que en los sistemas de enfriamiento donde existen productos fuertemente reductores, reducen el cromo hexavalente a trivalente anulando su acción protectora, o bien, cuando se emplean en bajas concentraciones, el cromo hexavalente actuará como un despolarizante reduciéndose en el cátodo a cromo trivalente, tal como se mencionó anteriormente.

El mecanismo de acción de los inhibidores anódicos inorgánicos sobre la superficie metálica, ha sido objeto de grandes controversias, pues en tanto que algunos autores sostienen que estos inhibidores forman una película protectora insoluble sobre la superficie metálica, otros sostienen que se lleva a cabo una adsorción ó quimisorción del inhibidor con la superficie metálica.

b) Polarización catódica.- Generalmente los sistemas de enfriamiento son altamente aerados, de aquí que la presencia de oxígeno sea inevitable, actuando este como un despolarizante llevando a cabo la reacción de reducción :



La reacción (2) se efectúa en el cátodo cuando el agua es neutra o alcalina.

La reacción (3) se efectúa en el cátodo cuando el agua es ácida.

Los inhibidores de tipo catódico serán los que tiendan a reducir o neutralizar las reacciones (2) y (3). De aquí que al no haber reacción catódica por efecto del inhibidor (polarizante), el potencial se desplazará hacia el ánodo, dando por resultado que tanto el potencial anódico como catódico converjan a un valor muy bajo de corriente, minimizando la corrosión.

Las áreas catódicas no serán atacadas durante la corrosión ya que el metal no intervendrá químicamente en las reacciones catódicas, teniendo por consecuencia que los inhibidores catódicos aún cuando se empleen en bajas concentraciones no produzcan corrosión localizada o pitting.

Entre los principales inhibidores catódicos tenemos : Bicarbonatos, sales de níquel o magnesio y cationes metálicos.

c) Polarización combinada.- Este fenómeno consiste en la polarización simultánea de las áreas anódicas y catódicas en un sistema metálico, empleando inhibidores que tienen dicha función dual.

Se cree que los inhibidores de este tipo basan su acción anticorrosiva en la formación de una película de interfase entre el metal y el líquido, causando un decremento en la velocidad de difusión de las sustancias corrosivas hacia el metal,

efecto debido a la alta viscosidad de los inhibidores de polimerización combinada.

Entre los principales inhibidores de este tipo tenemos : Gelatina, Cola, Dextrinas, Aceites solubles y otros compuestos orgánicos de alto peso molecular.

SINERGISTAS.- Cuando se emplea un agente químico puro para el control de corrosión, son necesarias dosis altas para que el tratamiento sea efectivo, así por ejemplo cuando se emplean únicamente cromatos, es necesario una dosis de 200-500 ppm para tener una protección efectiva en el sistema, sin embargo, cuando se usan combinaciones de agentes anticorrosivos ó bien un agente anticorrosivo con un sinergista, las dosis necesarias disminuyen notablemente.

Podemos definir a un sinergista como aquel agente químico capaz de mejorar las propiedades ó eficiencias de otro agente químico.

Se ha demostrado que algunos agentes sinergistas no tienen propiedades protectoras contra la corrosión cuando se usan solos.

7.2 CONTROL DE LA INCRUSTACION

Anteriormente se habló de la naturaleza de la incrustación en términos generales y de los factores que la afectan.

Para conocer cuantitativamente la tendencia incrustante ó corrosiva de un agua, hacemos uso de los índices de Langelier ó saturación y de Ryznar ó estabilidad.

Ambos índices se basan en la estimación cuantitativa de las siguientes características del agua: temperatura, pH, sólidos disueltos, alcalinidad, dureza al calcio; las cuales nos servirán para calcular el pH de saturación del agua.

$$\text{pH} = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

Indice de Langelier
ó saturación

$$I_s = \text{pH}_r - \text{pH}_s$$

Indice de Ryznar
ó estabilidad

$$I_e = 2\text{pH}_r - \text{pH}_s$$

Donde :

pH_s .- pH de saturación del agua

pH_r .- pH real del agua a las condiciones de la determinación.

A,B,C,D.- Valores de correlación de: Sólidos totales (A), temperatura (B), dureza al calcio (C) y alcalinidad (D), que contribuyen al pH de saturación del agua.

La interpretación de ambos índices debe ser como sigue:

INDICE DE LANGELIER (I_s)

Si el agua da un valor de $I_s = 0$ estará químicamente balanceada

Si el agua da un valor de $I_s > 0$ tendrá tendencia incrustante

Si el agua da un valor de $I_s < 0$ tendrá tendencia corrosiva.

INDICE DE RYZNAR (I_e)

Este índice es mucho mas exacto para el control del agua de enfriamiento, debiéndose interpretar de la manera siguiente :

Si el agua da un índice $I_e > 6$ tendrá tendencia incrustante

Si el agua da un índice $I_e < 6$ tendrá tendencia corrosiva

El control de la incrustación en un agua de enfriamiento estará basado precisamente en regular la cantidad de sólidos con tendencia incrustante presentes en el agua de enfriamiento.

Como es prácticamente inoportable eliminar estos compuestos por medios físicos, debido principalmente a las grandes cantidades de agua de enfriamiento que se usan en nuestros sistemas, existen otros métodos para su control, contándose entre ellos el empleo de agentes químicos de superficie que por su acción podríamos decir detergentes (como los polifosfatos), evitan que tales compuestos precipiten y se mantengan en solución hasta cierto límite, o bien el empleo de ácidos para transformar ciertos compuestos insolubles a otros más solubles.

El método de control más empleado para la incrustación es el método ácido ya que a la vez que nos permite ajustar el pH del agua al nivel de trabajo de los inhibidores de corrosión, nos transforma las sales de calcio y magnesio a compuestos más solubles, permitiéndonos mayores concentraciones de estas sales en el agua, logrando con ello un mayor aprovechamiento de la misma ya que la hace más estable.

El ácido comúnmente empleado es el ácido sulfúrico, ya que es el más barato y sus sales de calcio y magnesio son mucho más solubles que los carbonatos respectivos.

De acuerdo con esto el índice de estabilidad del agua será una herramienta muy útil para su control.

7.3 CONTROL DEL ENSUCIAMIENTO

Como muchas veces está fuera de nuestras manos el controlar algunos de los factores que afectan el ensuciamiento, se hace necesario el empleo de agentes de superficie, los cuales tienen por objeto prevenir el depósito de lodos, arcillas, algas, fibras, etc., sobre la superficie metálica, este tipo de agentes han sido llamados agentes auxiliares para el tratamiento del agua de enfriamiento, ya que complementan a los inhibidores de corrosión a la vez que evitan en cierto grado la incrustación y ensuciamiento de las superficies metálicas en contacto con el agua.

Los agentes de este tipo por su acción los podemos clasificar en: Quelatos, Secuestrantes, Dispersantes y Coagulantes.

Los quelatos basan su acción en la atracción electrónica con los iones metálicos presentes en el agua como el calcio y magnesio, sosteniéndolos unidos a la estructura anular de la molécula; ejemplos de este tipo de agentes son el ácido nítrico y el ácido dietilendiaminotetracético.

Los agentes secuestrantes tienen su acción en el intercambio electrónico con los materiales que causan depósitos, manteniéndolos en solución; ejemplo de este tipo son los polifosfatos.

Los agentes dispersantes tienen una acción parecida a la de los quelatos, pero la fuerza de unión entre partículas y agente son mucho más débiles que en el caso de los quelatos. Generalmente estos agentes adsorben los iones ó partículas en su capa superficial, neutralizando las fuerzas de unión entre iones ó partículas y superficie metálica, manteniendo a las partículas dispersas evitando así su depósito; ejemplos de este tipo de agentes son los taninos y ligninas.

Los agentes coagulantes funcionan como agentes de atracción de las partículas, formando grandes masas con dichas partículas, neutralizando también las fuerzas de unión entre dichas partículas y la superficie metálica; agentes de este tipo son las poliacrilamidas.

7.4 CONTROL MICROBIOLÓGICO

El control microbiológico consistirá en evitar el crecimiento y desarrollo de los microorganismos existentes en el agua de enfriamiento con el objeto de abatir los costos de operación del sistema, mas no con el objeto de mantenerlo estéril ya que ello sería prácticamente imposible además de costoso y no necesario.

El medio más adecuado para este control lo constituyen las sustancias químicas.

Se ha demostrado que en algunos sistemas de enfriamiento, donde se han empleado, cromato de sodio, sulfato de zinc o de cobre como inhibidores de corrosión, disminuye la incidencia de los hongos en la madera de las torres, efecto debido a que estos agentes químicos se difunden en la madera de la torre - combinándose con los arsénicos (existentes del pretratamiento a que es sometida la madera de las torres antes de su uso), - constituyendo compuestos cristalinos letales a estos tipos de microorganismos.

El control de las algas y bacterias se puede llevar a cabo con cloro ó pentaclorofenatos, o bien sulfato de cobre si en el sistema no hay material de aluminio en contacto con el agua de enfriamiento.

Cuando se use cloro se debe tener un buen cuidado en su dosificación ya que remanentes mayores a 1 ppm causan ataque a la madera como se estableció anteriormente.

8.- SELECCION DEL TRATAMIENTO PARA UN AGUA DE ENFRIAMIENTO

Resumiendo lo visto anteriormente, para seleccionar el tratamiento mas adecuado para un sistema de agua de enfriamiento, se deben tener en cuenta, entre otros, a los siguientes factores:

- 1.- Tipo de sistema de enfriamiento
- 2.- Características del agua de repuesto
- 3.- Cantidad disponible de agua de repuesto
- 4.- Volúmen del sistema
- 5.- Velocidad del agua de recirculación
- 6.- Metales presentes en el sistema
- 7.- Temperaturas del agua en el sistema

Una vez seleccionado el tratamiento mas adecuado, este deberá cubrir ampliamente los siguientes objetivos :

- 1.- Deberá controlar la formación de incrustaciones en la superficie de enfriamiento.
- 2.- Deberá prevenir la corrosión del metal en contacto con el agua de enfriamiento.
- 3.- Deberá evitar el ensuciamiento de las superficies de enfriamiento.
- 4.- Deberá evitar el deterioro de la madera de las torres de enfriamiento.

Entre los tratamientos contra la corrosión, se encuentran los inhibidores anódicos como los cromatos y polifosfatos cuyas dosificaciones varían desde 15 ppm hasta 200 ppm, dependiendo de si se usan solos o combinados con inhibidores catódicos ó agentes sinergistas.

Así por ejemplo el hexametafosfato de sodio en combinación con ferrocianuro de sodio y sulfato de zinc, da muy buenos resultados contra la corrosión en dosis de 20-30 ppm combinado con 5-10 ppm de ferrocianuro y 5-10 ppm de sulfato de zinc.

Lo mismo ocurre con los cromatos, pues en combinación con 2-5 ppm de polifosfatos y 2-3 ppm de cationes como Zn ó Mo, aquellos se pueden emplear en dosis de 15- 20 ppm.

Normalmente estas combinaciones de inhibidores de corrosión tienen su mejor acción en aguas cuyo pH se controla entre 6.5 y 7.0.

Entre los tratamientos contra la incrustación y ensuciamiento se encuentra el empleo de agentes de superficie como los taninos, ligninas, polifosfatos, poliacrilaminas, etc cuyas clasificaciones de 0.5 a 2 ppm, dependiendo del tipo de agente y de la turbidez del agua de circulación.

El ácido sulfúrico es uno de los mejores agentes para el control del pH en aguas alcalinas, ya que no solamente nos permite llegar al pH de trabajo de los inhibidores de corrosión mencionados, sino que a la vez nos transforma las sales insolubles de calcio y magnesio a los sulfatos respectivos que son mas solubles.

Entre el tratamiento contra los microorganismos, se encuentra el empleo del cloro, por ser un biocida de amplio espectro y cuya clasificación se hace en forma intermitente con dosis de 0.5-1.0 ppm como cloro residual, siendo el tiempo de cloración normalmente de 1-2 horas por cada turno de 8 horas.

De acuerdo con lo anterior, para nuestros sistemas de enfriamiento, se proponen utilizar para la prueba los siguientes tratamientos:

TRATAMIENTO A (Tratamiento actual)

AGENTE QUIMICO	FUNCION	DOSIS INICIAL	CONTROL
Dicromato de sodio	Inhibidor de corrosión	100 ppm	15-25 ppm como CrO_4^{2-}
Sulfato de Zinc	Agente sinergista	5-10 ppm	5-10 ppm

AGENTE QUIMICO	FUNCION	DOSIS INICIAL	CONTROL
H ₂ SO ₄	Control pH	6.5-7.5 pH	6.5-7.5 pH
Cloro	Biocida	1 ppm	1 ppm

TRATAMIENTO B (Tratamiento a prueba)

Acido aminó trimetil fosfónico	Inhibidor de corrosión	5 ppm	1-3 ppm
H ₂ SO ₄	Control pH	8 pH	7.5-8.5 pH
Lignosulfonato de sodio	Dispersante de lodos	5 ppm	2 ppm
Cloro	Biocida	1 ppm	1 ppm

C A P I T U L O I I I

P R O G R A M A S D E P R U E B A

Una vez seleccionado un tratamiento, para juzgar la bondad del mismo, se hace necesario el establecimiento de programas de prueba que deberán incluir:

1.- Limpieza del sistema; si el sistema está sucio o incrustado el tratamiento contra la corrosión ó incrustación será nulo o tendrá efecto solamente en aquellas superficies metálicas limpias dando efectos contraproducentes ya que en las superficies sucias se concentrará el ataque corrosivo dando como resultado el peligroso ataque localizado o pitting.

La limpieza de un sistema se puede llevar a cabo por medios mecánicos, por medios químicos o bien por el empleo de agentes dispersantes o antilodantes como los taninos o los polielectrolitos.

En sistemas donde el equipo no está muy sucio e incrustado el medio mas económico es el empleo de dispersantes o antilodantes, pues nos permiten efectuar la limpieza sin parar ningun equipo.

2.- Se deberán tomar testigos, por ejemplo un cambiador de calor que tenga la mas baja velocidad en el flujo de agua de enfriamiento y las mas altas temperaturas en el proceso, con el objeto de tener resultados comparativos antes y despues del tratamiento.

3.- Se deberán colocar testigos de corrosión (cupones) en las partes claves del sistema de enfriamiento, como en los retornos del agua de enfriamiento y entrada y salida de algun equipo clave.

Los testigos de corrosión deberán tener las especificaciones SAE- 1025 y SAE- 1009, cuyo material es acero dulce rolado en frío de 1"x2"x0.032".

Los cupones deben ser pulidos o sandblasteados. Dichos cupones deben tener perforaciones de 3/16" en las perminales para soportarlos con ganchos de vidrio en la cámara de prueba.

Después de pulidos con un abrasivo los cupones se lavan con benzol y se secan con un algodón limpio. Una vez perfectamente limpios se guardan en un desecador, pesándose en el momento de su uso. (peso 1)

Los cupones sandblasteados, se lavan con benzol secándose con un algodón limpio; antes de su uso deben de ponerse en HCl por 15 minutos, lavados con agua hasta que estén libres de acidez enjuagados con alcohol isoprópflico y benzol , finalmente son secados con aire, se guardan en un desecador y se pesan en el momento de su uso (Peso 1).

Para el examen de los testigos de corrosión se deberán seguir los siguientes pasos:

a) Una vez efectuado el retiro del sistema, se lavan con agua limpia para eliminar los depósitos superficiales, enjuagandose hasta con alcohol isopropílico y lavandose con benzol secandose hasta peso constante. Se anota el peso (Peso 2).

b) Se sumergen los cupones en ácido clorhídrico concentrado inhibido con 5% de cloruro estanoso y 2% de oxido antimoniado, por espacio de 30 segundos, con agitación y a temperatura del cuarto.

c) Después de los 30 segundos se sacan del ácido y se lavan con una solución concentrada de carbonato de sodio, con el objeto de neutralizar la acidez residual.

d) Finalmente se lavan con agua destilada seguida de alcohol isopropílico y benzol, se secan con un algodón limpio, se guardan en un desecador y se pesan (Peso 3).

Si en este paso se nota que la superficie del cupon no está limpia, se repite el paso (b).

Las pesadas en todos los casos se deben hacer con una aproximación a 0.0001 g.

El cupón de prueba, debe permanecer en el sitio seleccionado, un tiempo mínimo de 3 semanas. Es conveniente tener resultados de esta prueba para tiempos de exposición de los cupones de 30, 60, 90 y 120 días.

Una vez efectuadas las operaciones anteriores se deberá calcular la velocidad de corrosión general empleando la siguiente ecuación :

$$\text{MPY ó MPA} = \frac{22289 \text{ W}}{\text{DxAxT}}$$

Donde :

MPY ó MPA .- Velocidad de corrosión en milésimas de pulgada por año.

W.- Pérdida de tiempo del cupon en gramos

D.- Densidad del material del cupon en g/cm^3

A.- Area expuesta en pulgadas cuadradas

T.- Tiempo de exposición en días

La inspección visual ó al microscopio del testigo de corrosión nos indicará la frecuencia y severidad del pitting ó corrosión localizada.

La inspección visual del testigo ó cupon después de efectuado el paso No. A mencionado anteriormente nos indicará cualitativamente si en el cupon hay depósitos de incrustación.

Se tienen dos sistemas de enfriamiento como base para la prueba, en los cuales se evaluarán comparativamente los dos tratamientos, los cuales denominaremos :

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO 1.- Aquel sistema en el cual se llevará a cabo el tratamiento actual, el que se denominará

TRATAMIENTO A.- que tendrá las siguientes variables de control:

pH	6.5-7.5
CrO_4^-	15-25 ppm
Zn^{++}	5-10 ppm
Cl_2	1 ppm

Las cuales se controlarán con la adición de los siguientes reactivos :

H ₂ SO ₄	Control pH
Na ₂ Cr ₂ O ₇	Inhibidor de corrosión
ZnSO ₄	Agente sinergista
Cloro	Biocida

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO 2 .- Aquel sistema en el cual se llevará a cabo el tratamiento nuevo, al cual denominaremos tratamiento B, el cual tendrá las siguientes variables de control:

pH	8
Acido fosfónico	1-3 ppm
Cloro	1 ppm

Las cuales se controlarán con la adición de los siguientes reactivos :

Acido amino trimetil fosfónico	Inhibidor de corrosión
H ₂ SO ₄	Control pH
Lignosulfonato de sodio	Prevenir ensuciamiento
Cloro	Biocida

Tanto el sistema de enfriamiento 1 como el sistema de enfriamiento 2 darán servicio al mismo número de plantas, con idénticas características de operación.

En ambos sistemas se llevarán a cabo las siguientes pruebas de acuerdo a los programas que a continuación se detallan:

Programa de limpieza para las torres de enfriamiento
1 y 2 .

a) Se deberá cambiar completamente el agua del sistema por agua de repuesto clarificada y filtrada.

b) Con el objeto de eliminar grasas, aceite, etc, que pudiera haber en el sistema se deberán agregar al agua circulante 200 Kg de detergente y circular por espacio de 24 hrs.

c) Volver a cambiar el agua de la torre y adicionar dicromato de sodio hasta tener 100 ppm como $\text{CrO}_4^{=}$ en el agua de circulación. Mantener esta concentración por espacio de 48 horas. Mantener esta concentración inicial alta tiene como objetivo formar una película de protección.

d) Tratar de mantener los valores establecidos para ambos tratamientos a la mayor brevedad posible.

Programa para la evaluación de la eficiencia de transferencia de calor.

Es muy conveniente considerar como un parámetro de la eficiencia de intercambio de calor, a los Δt reales que se tienen en el equipo del lado del agua de enfriamiento. Esto se basa en la consideración de que el calor transferido viene dado por la ecuación:

$$Q = m \text{ cp} \Delta t$$

En un momento dado, Q es una variable de control del proceso, se alteran condiciones de operación cuando no puede mantenerse estable.

m .- es la cantidad de agua de enfriamiento la cual también permanece constante.

Ahora bien en caso de existir un decremento en la eficiencia de transferencia de calor, debido a posibles incrustaciones ó a ensuciamiento, esto se reflejará en un cp menor y por lo consiguiente si se quiere mantener la cantidad de calor Q constante, se reflejará en un aumento en el Δt del lado del agua de enfriamiento. Esto nos da una idea clara de la forma en que pueden ser utilizados estos valores de Δt , ya que nos indican en que momento se hace indispensable realizar lavados ácidos a los equipos para eliminar incrustaciones .

Para el caso que nos afecta, se tomarán lecturas de los Δt reales, en cinco equipos diferentes para cada sistema de enfriamiento. Denominaremos a tales equipos E-1, E-2, E-3, E-4 y E-5.

Programa para la instalación de los testigos de corrosión

a) Se deberán instalar 10 cupones en cada sistema de enfriamiento, previamente preparados como se describió anteriormente.

b) Se deberá checar continuamente, que dichos cupones - siempre tengan agua de circulación, la cual deberá tener una velocidad de 3-5 ft/seg.

c) Se deberán retirar los cupones a los 30 días de su - instalación y se procederá inmediatamente a la evaluación de la velocidad de corrosión.

d) De ser posible el mismo día, los cupones deberán ser preparados nuevamente y reinstalados.

e) Se seguirá la misma secuencia para las posteriores evaluaciones a 60, 90, 120 días.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

PARTE A.- EVALUACION TECNICA

1.- Limpieza del sistema.- La limpieza de los dos sistemas se llevó a cabo de acuerdo con el programa de limpieza - descrito en el capítulo anterior. Para evaluar la eficiencia de dicha limpieza, nos basamos en las observaciones que se realizaron a los equipos de intercambio de calor, tomándose como muestra un tubo de dicho equipo y evaluando el porcentaje de área protegida, la cual nunca deberá ser menor al 95 %, de lo contrario se suspende la prueba, y se procede a efectuar la limpieza nuevamente. También se deben evaluar posibles incrustaciones y determinar si existe corrosión localizada.

Tomando en cuenta lo anterior, se tuvieron los siguientes resultados :

	Area protegida	Corrosión, Incrustaciones y Ensuciamiento.
TORRE DE ENFRIAMIENTO 1		
Tratamiento A	99 %	NULLA
TORRE DE ENFRIAMIENTO 2		
Tratamiento B	99 %	NULLA

Como se puede observar en la tabla anterior, la limpieza para ambos sistemas fué efectiva por lo que se procedió a efectuar la prueba con los dos tratamientos.

2.- Evaluación de la eficiencia de intercambio de calor.-
Como se discutió en el capítulo anterior, dicha evaluación se
llevará a cabo en función a los Δt reales observados durante
los 120 días que duró la prueba.

TRATAMIENTO A

	Δt ($^{\circ}F$)			
	30 días	60 días	90 días	120 días
E-1	25	25	26	27
E-2	25	26	26	28
E-3	20	21	23	23
E-4	20	20	21	21
E-5	20	21	22	22

TRATAMIENTO B

	Δt ($^{\circ}F$)			
	30 días	60 días	90 días	120 días
E-1	25	25	25	26
E-2	25	26	26	26
E-3	20	20	21	22
E-4	20	20	20	20
E-5	20	20	21	21

3.- Evaluación de los testigos de corrosión.- Como se -
discutió anteriormente, la evaluación de dichos testigos es
un factor importantísimo en la evaluación de los tratamien-
tos a las torres de enfriamiento.

Para cada uno de los dos sistemas, se obtuvieron las si-
guientes velocidades de corrosión en MPY

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO 1
Tratamiento A

	30 días	60 días	90 días	120 días
CUPON # 1	1.02	1.21	1.23	1.31
CUPON # 2	1.48	1.53	1.60	1.69
CUPON # 3	1.53	1.62	1.73	1.84
CUPON # 4	1.38	1.43	1.61	1.73
CUPON # 5	1.27	1.29	1.37	1.43
CUPON # 6	1.69	1.75	1.85	1.91
CUPON # 7	1.73	1.83	1.89	1.97
CUPON # 8	1.84	1.94	1.99	2.13
CUPON # 9	1.20	1.23	1.29	1.35
CUPON # 10	1.36	1.41	1.48	1.53

TABLA A

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO 2
Tratamiento B

	30 días	60 días	90 días	120 días
CUPON # 1'	0.83	0.92	1.01	1.11
CUPON # 2'	0.91	0.96	1.02	1.07
CUPON # 3'	0.85	0.89	0.93	0.99
CUPON # 4'	1.02	1.05	1.09	1.13
CUPON # 5'	1.04	1.07	1.14	1.16
CUPON # 6'	1.03	1.04	1.05	1.09
CUPON # 7'	0.82	0.87	0.93	1.07
CUPON # 8'	0.93	0.99	1.05	1.12
CUPON # 9'	0.97	1.06	1.11	1.17
CUPON # 10'	1.06	1.09	1.13	1.21

TABLA B

PARTE B .- EVALUACION ECONOMICA

Análisis de costos.- Debido a que los dos sistemas que estamos comparando, tienen los mismos costos fijos, ya que constan de los mismos equipos, analizaremos únicamente la variación en \$/año en lo que se refiere a costos de reactivos, ya que este es el único parámetro variable que nos interesa observar.

1.- COSTOS DE REACTIVOS. TRATAMIENTO A

El tratamiento A utilizará los siguientes reactivos en las dosificaciones que se especifican, con respecto al agua de repuesto :

H ₂ SO ₄	pH 6.5-7.5
Na ₂ Cr ₂ O ₇	15-25 ppm
ZnSO ₄	5-10 ppm
Cl ₂	1 ppm

a) Costo de ácido sulfúrico.- Durante el transcurso del año 1978, se tuvo un consumo real de 80 toneladas. En este caso nos basaremos en este dato, ya que el pH del agua de repuesto tiene algunas variaciones (7.7-8.3)

$$80 \text{ Ton/año} \times 700 \text{ \$/Ton} = 56,000 \text{ \$/año}$$

b) Costo del Na₂Cr₂O₇.- Se tiene un agua de repuesto con un gasto de 1200 G.P.M. y se dosificará a un promedio de 20 ppm, por lo que :

$$1200 \text{ Gal/min} \times 20 \text{ mg/l} \times 3.785 \text{ l/Gal} = 90.84 \text{ g/min}$$
$$0.0908 \text{ Kg/min} \times 1440 \text{ min/día} \times 365 \text{ días/año} \times 2.4 \text{ \$/Kg}$$

$$\text{Costo de Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 114,589 \text{ \$/año}$$

Costo de $ZnSO_4$.- Tomando en consideración también el gasto del agua de repuesto, y una dosificación promedio de 8 ppm tenemos :

$$1200 \text{ Gal/min} \times 8 \text{ mg/l} \times 3.785 \text{ l/Gal} \times \text{kg}/10^6 \text{ mg} \times 60 \text{ min/hr} \\ \times 24 \text{ hrs/día} \times 365 \text{ días/año} \times 2.6 \text{ \$/Kg} = 49,655 \text{ \$/año}$$

Costo de cloro.- Tomando las mismas consideraciones :

$$1200 \text{ Gal/min} \times 1 \text{ mg/l} \times 3.785 \text{ l/Gal} \times \text{kg}/10^6 \text{ mg} \times 60 \text{ min/hr} \\ \times 24 \text{ hrs/día} \times 365 \text{ días/año} \times 2.5 \text{ \$/Kg} = 5,968.17 \text{ \$/año}$$

Costo total de reactivos Tratamiento A

REACTIVO	COSTO (\\$/año)
$Na_2Cr_2O_7$	56,000
$ZnSO_4$	114,589
H_2SO_4	49,655
Cl_2	5,968

Costo Total = 226,212 \\$/año

2.- COSTOS DE REACTIVOS. TRATAMIENTO B

El tratamiento B utilizará los siguientes reactivos en las dosificaciones que se especifican, con respecto al agua de repuesto :

Acido aminotrimetilfosfónico	1-3 ppm
H ₂ SO ₄	3 pH
Lignosulfonato de sodio	2 ppm
Cloro	1 ppm

a) Costo de H₂SO₄.- Ya que debido a las características del agua de repuesto, caen dentro del rango óptimo de este - tratamiento, (pH 7.5-8.5), no ha sido necesario el uso de H₂SO₄ para controlar el pH, por lo que para nuestro caso particular no representa ningún costo.

b) Costo del ácido aminotrimetilfosfónico.- Considerando un gasto de agua de repuesto de 1200 G.P.M. y un control de 2 ppm, tenemos :

$$1200 \text{ Gal/min} \times 2 \text{ mg/l} \times 3.785 \text{ l/Gal} \times \text{Kg}/10^6 \text{ mg} \times 60 \text{ min/hr} \\ \times 24 \text{ hr/día} \times 365 \text{ días/año} \times 18 \text{ \$/Kg} = 85,942 \text{ \$/año}$$

c) Costo de lignosulfonato de sodio :

$$1200 \text{ Gal/min} \times 2 \text{ mg/l} \times 3.785 \text{ l/Gal} \times \text{Kg}/10^6 \text{ mg} \times 60 \text{ min/hr} \\ \times 24 \text{ hr/día} \times 365 \text{ días/año} \times 3 \text{ \$/Kg} = 62,069 \text{ \$/año}$$

d) Costo de cloro.- Será el mismo que en el otro tratamiento.

Costo total de reactivos. Tratamiento B

REACTIVO	COSTO (\$/año)
H ₂ SO ₄	0
Acido fosfónico	85,942
Lignosulfonato de sodio	62,069
Cloro	5, 968

Costo total = 153,979 \$/año

CAPITULO V

CONCLUSIONES

Analizando los resultados obtenidos se puede llegar a las siguientes conclusiones :

1.- De acuerdo a la tabla B se puede observar que el tratamiento propuesto es mas eficiente que el tratamiento anterior en lo que respecta al control de la corrosión.

2.- De acuerdo a las observaciones visuales y a la eficiencia de transferencia de calor se concluye que este tratamiento mejora el control de la incrustación y ensuciamiento.

3.- De acuerdo con la evaluación económica, observamos que este tratamiento es menos costoso que el anterior.

4.- Los productos utilizados para este tratamiento representan menos riesgos en su manejo.

Hacemos notar que tomando como base el presente estudio, la Gerencia de Petroquímica de Petróleos Mexicanos, ha tomado la decisión de uniformizar los tratamientos químicos a las torres de enfriamiento del Complejo Petroquímico Cactus, Chis. utilizando íntegramente el tratamiento probado.

Dicha uniformización se empezará a llevar a cabo desde Abril de 1979, y se espera que dicho tratamiento sea utilizado en la totalidad de las torres de enfriamiento para fines de 1979.

Para esta época la totalidad de las torres de enfriamiento tendrán una capacidad de manejo de 36,000 G.P.M. y el gasto de las purgas será de 10,800 G.P.M.

C A P I T U L O V I

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Betz, L.D. and W.H. Betz Handbook of Industrial Water conditioning. W. H. and L.D. Betz. chemical engineers ed. Limusa Willey.
- 2.- Denman, W. L. and Friedman, OH. B. " The evaluation of cooling tower corrosion inhibitors " ed. L. Willey
- 3.- Hatch G. B. " Dichromate - Zinc inhibition in recirculating coolings water systems" Materials protection.
- 4.- Gatos, H. C. " Inhibition of metallic corrosion in aqueous media "
- 5.- Kelly, B. J. Puckorius P.R. "Fouling and scaling of heat exchange equipment " Materials protection
- 6.- The Permitt Company " Water conditioning hand- book (1975).
- 7.- Uhlig, H. H. " The corrosion hand- book " John.W. and sons, Inc. New York (1973).
- 8.- Whitney, F. L. Jr. " Inhibiting a cooling water tower system " Corrosión, 711- 718. John. W. and sons Inc. New York (1969).

TESIS



Tesis por computadora

Medicina 25 Local 2
Tel. 550-87-98

Frente a la Facultad de Medicina
Ciudad Universitaria