



47
Ref

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

“Inspección y Control de Corrosión en una Torre de Enfriamiento”

TRABAJO ESCRITO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A

EDITH HUANTE HERNANDEZ

MEXICO, D.F.

1991

FALLA DE ORIGEN



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 está 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.

INDICE

I. INTRODUCCION.

II. OBJETIVO.

III. GENERALIDADES.

3.1 Uso del agua en plantas de proceso.

3.1.1 Fuentes de abastecimiento de agua.

3.1.2 Tipos de agua que se emplean en las plantas de proceso.

3.2 Sistemas de enfriamiento.

3.3 Torres de enfriamiento de agua para plantas de proceso.

3.4 Descripción de las partes de una torre de enfriamiento.

IV. VARIABLES QUE INCIDEN EN LA CORROSION DE UN SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO.

4.1 Tratamiento de agua de enfriamiento.

4.2 Incrustación.

4.2.1 Medidas preventivas.

4.3 Ensuciamiento.

4.3.1 Control de ensuciamiento.

4.4 Ensuciamiento biológico.

4.4.1 Control del ensuciamiento biológico.

4.4.2 Factores que gobiernan en el control de ensuciamiento biológico.

V. CORROSION Y SU CONTROL EN AGUA DE ENFRIAMIENTO.

5.1 Conceptos generales de corrosión.

5.2 Control de corrosión en torres de enfriamiento.

5.2.1 Inhibidores anódicos.

5.2.2 Inhibidores catódicos.

5.3 Monitoreo de la corrosión.

5.3.1 Pérdidas de peso.

5.3.2 Mediciones eléctricas.

VI. PROCEDIMIENTO PARA CONTROLAR LA CORROSION EN UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO.

6.1 Medición.

6.2 Control.

6.3 Reportes e informes.

6.4 Ejemplo práctico.

VII. INSPECCION DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.

VIII. CONCLUSIONES.

IX. BIBLIOGRAFIA.

I. INTRODUCCION.

La mayor parte del agua empleada con fines industriales se usa para enfriar un producto o un proceso. La disponibilidad del agua en la mayoría de las áreas industrializadas y su gran capacidad calorífica han hecho del agua el medio de transferencia favorito en las aplicaciones industriales y de servicios.

Durante los años recientes, el uso de agua para enfriamiento se ha puesto bajo una vigilancia creciente, tanto desde el punto de vista ambiental como el de conservación, y como resultado, los patrones de uso de agua de enfriamiento están cambiando y continuarán haciéndolo.

Por ejemplo, en muchos sistemas se pasa el agua de enfriamiento a través del sistema de la planta sólo una vez, y se regresa a la cuenca. Esto crea una tasa elevada de desperdicio de agua y añade calor a la corriente receptora. Por otra parte, los sistemas de torre de enfriamiento permiten la reutilización del agua hasta tal punto que en la mayor parte de los sistemas modernos se reducen las tasas de toma de la corriente en más de 90%. Esto reduce en forma importante la entrada de calor a la corriente, puesto que el calor se transfiere al aire.

Estos cambios en el diseño y en la operación de sistemas de agua de enfriamiento tienen un impacto profundo en la química del agua, puesto que ésta influye en el potencial de corrosión, depósitos y ensuciamiento en el sistema.

En este trabajo se expone la importancia del agua en las plantas de proceso, los diferentes sistemas de agua de enfriamiento, las variables que inciden en la corrosión (formación de depósitos y ensuciamiento biológico), dado que afectan a la producción de la planta, tanto por la pérdida de transferencia de calor, como por fallas en el equipo, o por ambas causas, generando grandes pérdidas económicas producidas por los paros de las unidades de proceso y por los daños inherentes al equipo.

También se examinan varios conceptos sobre el tratamiento de agua de enfriamiento y se analizan los procedimientos de control requeridos para el éxito del tratamiento.

Además se plantea el procedimiento de inspección para una torre de enfriamiento.

Finalmente se evalúa un ejemplo práctico y se hacen las recomendaciones necesarias para controlar la corrosión en una torre de enfriamiento.

II. OBJETIVO.

El objetivo del presente trabajo es revisar la problemática de la corrosión en una torre de enfriamiento, presentando los conceptos principales que conciernen a estos equipos.

III. GENERALIDADES.

3.1. USO DEL AGUA EN PLANTAS DE PROCKSO.

Una planta de proceso implica dos operaciones básicas: cambio físico o proceso de separación y cambio químico o proceso de conversión.

Para la mayor parte de estos procesos se efectúan operaciones unitarias individuales, en las cuales son básicos los hornos, calentadores, cambiadores de calor, columnas de destilación, reactores de conversión, etc., a los cuales los servicios auxiliares les son indispensables y tan importantes como el diseño mismo de las unidades de proceso. Uno de los servicios primarios que presenta la mayor importancia es el "Agua", la cual es vital para la operación de los procesos, ya que de ella se obtienen diferentes calidades tales como agua de proceso, de alimentación a calderas, de repuesto a torres de enfriamiento, agua potable, etc. Siendo el agua un compuesto químico muy estable, que tiene una capacidad muy grande para recoger y transportar calor, es un factor vital en las operaciones de un proceso.

3.1.1 FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.

El agua se puede obtener de varias fuentes (según la ubicación del centro de trabajo) y en consecuencia los tratamientos para acondicionarla varían. Estas fuentes se clasifican en dos según su origen:

1. Aguas superficiales

- Ríos

- Lagos
- Lagunas
- Canales

2. Aguas subterráneas

- Pozos
- Manantiales
- Filtraciones subterráneas

Independientemente de su origen, el agua natural nunca es pura, ya que a medida que va lloviendo el agua disuelve en ella gases y polvos de la atmósfera, creando una infinidad de impurezas.

El grado de pureza depende del uso particular que se le vaya a dar. Si el agua es impura, como suele serlo, convendrá tener varios sistemas separados de agua para evitar purificar toda el agua que entra a la planta.

Existen un sinnúmero de tipos de tratamiento primario de agua usados industrialmente, dependiendo de dos factores importantísimos del agua:

- 1) Su composición o contenido de sales disueltas.
- 2) Calidad del efluente requerida, según el uso final que se tenga destinado a cada agua.

Los principales procesos para lograr la eliminación de sedimentos, turbidez, color y materia orgánica son:

- 1) Filtración
- 2) Sedimentación
- 3) Coagulación
- 4) Asentamiento

De estos procesos, la sedimentación y la filtración se usan separadamente por lo general, pero a veces se hacen combinaciones entre ellos. Las combinaciones más frecuentes de estos procesos son: coagulación y asentamiento; coagulación y filtración; coagulación, asentamiento y filtración; y sedimentación coagulación; asentamiento y filtración.

La sedimentación se aplica cuando se trata de aguas superficiales, que llevan grandes cantidades de lodos y que están sujetas a cambios en su concentración de partículas, debido a lluvias u otros agentes externos.

La coagulación se usa después de un tanque sedimentador o directamente sobre agua cruda, cuando la turbidez no es muy alta.

La filtración es el paso final de la clarificación y se usa generalmente después de un tanque coagulador. Después del procesamiento inicial, el agua se divide por lo general, en varias corrientes para ser usada en la planta de proceso.

3.1.2 TIPOS DE AGUA QUE SE EMPLEAN EN LAS PLANTAS DE PROCESO.

El suministro típico de agua a una planta de proceso, básicamente, tiene los siguientes porcentajes:

- a) Agua de enfriamiento: 66%
- b) Agua para generación de vapor: 20-25%
- c) Agua de proceso: 10% +/-
- d) Agua para usos sanitarios y servicios generales:
10% +/-
- e) Agua contra incendio

AGUA DE ENFRIAMIENTO

Esta clase de agua es la que se usa en mayor cantidad en una planta de proceso.

Para el agua de enfriamiento es necesario un tratamiento que evite la incrustación, corrosión y formación de algas y hongos incrementándose los tratamientos, si el sistema es de recirculación.

AGUA PARA GENERACION DE VAPOR (CALDERAS)

Las calderas de alta presión requieren de agua muy pura. El agua para este uso se trata con cal-carbonato, posteriormente se purifica por intercambio iónico o por tratamiento en caliente con fosfatos. Otros tratamientos pueden ser:

a) Tratamiento ácido o por agentes orgánicos tensoactivos para evitar depósitos en las líneas de alimentación de agua para calderas.

b) Eliminación de sílice para prevenir la formación de incrustaciones.

c) Eliminación de aceite para evitar depósitos carbonosos y formación de espuma.

d) Dosaereación para eliminar gases disueltos que puedan ser corrosivos.

AGUA DE PROCESO

Es el agua que se usa en un proceso como compuesto reaccionante o solvente, la cual se necesita que esté altamente purificada para evitar la contaminación de productos o el envenenamiento de

catalizadores; para esto el agua se somete a un proceso de ablandamiento (cal-carbonato) y puede ser además desmineralizada por intercambio iónico o por evaporación.

AGUA PARA USOS SANITARIOS

Este tipo de agua debe ser potable y estar libre de bacterias patógenas.

AGUA PARA SERVICIOS GENERALES

Esta agua se utiliza para operaciones diversas de lavado, como son la limpieza de una determinada área de trabajo. Esta agua debe estar libre de sedimentos, pero no requiere de ningún tipo de tratamiento posterior. Esta agua no debe ser consumida por el personal.

AGUA CONTRA INCENDIO

Este es un servicio intermitente y, para asegurar su capacidad suficiente cuando sea requerida, se puede interconectar con el almacenamiento de agua más grande, que por lo general es el de agua cruda (ya que el agua contra incendio no requiere tratamiento previo) y si es necesario se podrán interrumpir otros servicios.

3.2 SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO.

En la industria se usan grandes cantidades de agua de enfriamiento. Los gastos de agua varían según las temperaturas y uso particular que se le dé.

El agua de enfriamiento puede provenir de tres fuentes distintas:

- 1) Aguas subterráneas. Estas aguas, por lo general de pozo, son muy útiles para enfriamiento en un paso por sus temperaturas uniformes. Puesto que la turbidez de este

Tipo de agua no es muy alta, se requiere de un tratamiento previo, ya sea de coagulación o de ablandamiento por precipitación y finalmente una filtración para eliminar la turbidez resultante de este tratamiento.

- 2) Aguas superficiales. Estas están sujetas a cambios de temperatura según la estación. Requieren de un pretratamiento que consiste generalmente de una sedimentación seguida de una coagulación y finalmente de una clarificación por asentamiento y/o filtración.
- 3) Agua de mar. Varían sus temperaturas según las corrientes cercanas a la toma de agua, dependiendo de su profundidad y localización. Se utiliza sobre todo en lugares cercanos a la costa donde es escasa el agua dulce. Este tipo de agua requiere de un pretratamiento similar al de las aguas superficiales.

Los sistemas de agua de enfriamiento presentan problemas por: incrustaciones, corrosión, sedimentos y crecimientos orgánicos, por lo tanto, un agua de enfriamiento ideal es aquella que no produzca los problemas anteriores y que esté a la temperatura más baja posible para usarse en determinado proceso.

Hay tres clasificaciones generales de agua de enfriamiento, según su condición de uso:

- 1) Enfriamiento en un paso
- 2) Sistema de recirculación cerrado
- 3) Sistema de recirculación abierto

ENFRIAMIENTO EN UN PASO

Este sistema se usa cuando hay disponibilidad ilimitada de agua. En estos sistemas el agua de enfriamiento se usa una sola vez y se desecha, puede ser de pozo o de las llamadas aguas superficiales (ríos, lagos, etc.).

Este sistema es de los más simples, sin embargo, tiende a desaparecer, debido a que después de utilizar el agua, ésta regresa a su lugar de origen, contaminando térmicamente grandes volúmenes de agua.

SISTEMA DE RECIRCULACION CERRADO

Este tipo de sistema se encuentra completamente confinado dentro de tubos y cambiadores de calor. El calor absorbido generalmente se disipa por enfriamiento con aire. El ejemplo mas familiar son los radiadores de los automóviles; en plantas industriales sería el enfriamiento de máquinas diesel y de combustión interna. Teóricamente no se necesita agua de reposición en estos sistemas, pero prácticamente se ha encontrado que si se requiere de una pequeña cantidad como reposición por evaporaciones parciales y purgas.

SISTEMA DE RECIRCULACION ABIERTO

Este sistema es de los más usados, el agua enfria y es enfriada posteriormente en una torre de enfriamiento para volverla a recircular; como resultado se tendrá que reponer continuamente para reemplazar el agua que está siendo evaporada en la torre y de las descargas (purgas) y así mantener un nivel aceptable de salinidad en el agua de circulación.

Estos sistemas, puesto que están abiertos al aire, presentan un potencial mayor para los problemas asociados con depósitos (ensuciamiento, incrustación), corrosión y organismos microbiológicos por las siguientes razones:

- Operan a altas temperaturas promoviendo los depósitos de incrustaciones y una mayor rapidez de corrosión.
- La adición de agua de repuesto con más depósito de incrustación y formadores de productos corrosivos.
- La presencia continua de oxígeno, el cual es particularmente corrosivo para los metales, en todas las partes del sistema, especialmente en los intercambiadores de calor.

3.3 TORRES DE ENFRIAMIENTO DE AGUA PARA PLANTAS DE PROCESO.

El enfriamiento de agua es uno de los procesos más antiguos y simples que conoce el hombre. Lo único que se necesita para enfriar el agua es exponer su superficie al aire y evaporar parte de la misma. Algunos procesos son lentos, como es la exposición de la superficie de una pileta o estanque al aire. Otros son comparativamente rápidos por medio de equipo industrial destinado para este fin, tal como las torres de enfriamiento, exponiendo la superficie del agua a una corriente de aire, generada por un tiro natural, forzado o inducido.

En estos procesos la transferencia de calor y masa es simultánea y la dirección de la transferencia está determinada por la relación entre la humedad y la temperatura del gas de entrada y

la temperatura del líquido; o sea, la fuerza directora para el proceso es entre la presión de vapor del agua y la presión de vapor que tendría a la temperatura de bulbo húmedo del aire.

El proceso global de transferencia de calor y masa incluye dos pasos:

1. La transferencia de calor latente, que permite la vaporización de una pequeña porción de agua.
2. La transferencia de calor sensible permitida por la diferencia de temperatura del agua y del aire.

Aproximadamente el 80% de la transferencia de calor es debida al calor latente y el 20% al calor sensible.

Para tal fin se utilizan torres de enfriamiento que generalmente están construidas de madera, formando estructuras parecidas a huacales, sin embargo, también se emplean estructuras de aluminio, de ladrillo, de concreto y de asbesto cemento.

Existen diferentes tipos de torres:

- a) Tiro natural (atmosférica)
- b) Tiro natural, flujo a contracorriente
- c) Tiro natural, flujo cruzado
- d) Tiro forzado, flujo a contracorriente
- e) Tiro inducido en contracorriente
- f) Tiro inducido con flujo cruzado

A continuación se hará una descripción de cada uno de los tipos de torres y sus principales componentes.

a) Torres de enfriamiento de tiro natural (atmosférica) (Fig. 1)

Su funcionamiento depende de las corrientes naturales de aire, las cuales suministran aire fresco para efectuar el enfriamiento del agua por contacto directo. El aire se calienta en la torre por contacto con el agua caliente, de manera que el aire baja su densidad, la diferencia de densidades origina un flujo natural de aire frío en la sección inferior de la torre, y una circulación de aire caliente en la parte superior, originándose un tiro natural. Para lograr lo anterior las torres deben ser altas y con grandes secciones transversales, debido a la baja velocidad con la que circula el aire dentro de la torre, por lo que su comportamiento es función de las condiciones y características del viento, en el lugar de la localización de la planta. El aire penetra a través de las persianas en una sola dirección, razón por la cual su operación se ve afectada por los cambios en el sentido del viento, su velocidad y en general por las condiciones atmosféricas en las diferentes estaciones del año.

Este tipo de torres generalmente se emplean en lugares donde las velocidades promedio del viento son altas, 8 a 9 km/hr (5 a 6 mph), o bien, en lugares donde el costo de la energía eléctrica es alta, pero en general este tipo de torres de enfriamiento no tiene aplicación para servicios industriales. Los materiales usados suelen ser madera tratada y lámina de asbesto, cemento con empaques de madera tratada y materiales plásticos.

b) Torres de enfriamiento de tiro natural con flujo a contracorriente (figura 2).

Su funcionamiento es igual que las torres de tiro natural (atmosféricas). A diferencia de las torres atmosféricas, el tiro natural se ve incrementado por la chimenea que origina un aumento en la inducción del aire caliente, debido a la gran altura con que se diseña.

El flujo de aire es a contracorriente con la caída de agua. Las pérdidas por arrastre de agua en el aire se mantienen por lo general a niveles muy bajos del orden de 0.02% del flujo total de agua. Suelen emplearse este tipo de torres de enfriamiento en lugares donde el clima es frío o templado y húmedo, y por lo general en plantas de generación de potencia en donde se manejan gastos muy grandes de agua (100,000 gpm o mayores), debido a que no tienen mucha flexibilidad en su operación.

Están construidas de concreto en lo que corresponde al cascarón exterior, mientras que el empacado y el soporte de éste son generalmente de madera tratada o materiales plásticos.

c) Torres de enfriamiento de tiro natural con flujo cruzado (figura 3).

El funcionamiento y comportamiento de este tipo de torres de enfriamiento es casi igual al descrito para torres de flujo a contracorriente, con la excepción de que el flujo de aire entra en forma perpendicular a la caída de agua, ofreciendo poca resistencia al flujo de agua.

Los materiales empleados en la construcción de estas torres son concreto para el material exterior y los soportes del empaque son de madera o plástico.

d) Torres de enfriamiento de tipo mecánico con tiro forzado y flujo a contracorriente (figura 4).

Su funcionamiento es de la siguiente forma:

El aire es forzado a través de la torre en un flujo a contracorriente con relación al flujo de agua. En las torres de tiro forzado los ventiladores se localizan en la parte lateral inferior del equipo y envían el aire a través del empaque de la torre, descargándolo a baja velocidad en la parte superior. La distribución de este aire es relativamente pobre ya que debe dar un giro de 90° a gran velocidad, lo que origina que se canalice el aire en lugar de existir una distribución uniforme a través de todo el empaque. La principal desventaja de las torres de tiro forzado es que poseen porcentajes elevados de recirculación de aire caliente y saturado. Los materiales utilizados en su construcción son madera tratada, asbesto, cemento y metales (acero galvanizado), el relleno y soporte del relleno suelen ser de madera tratada o plástico.

e) Torres de enfriamiento de tipo mecánico con tiro inducido y flujo a contracorriente (Figura 5).

En estas torres de enfriamiento, a diferencia de las torres de tiro natural a contracorriente, su funcionamiento no depende de las corrientes naturales de aire, dado que el aire es inducido por medio de ventiladores localizados en la parte superior; el

aire se introduce por la sección de persianas localizadas en la parte inferior de la torre y se pone en contacto con el flujo de agua en contracorriente, el aire inducido se descarga a través del ventilador a altas velocidades, proyectándose hacia la atmósfera, con lo que se evita un asentamiento posterior, disminuyendo con ello el efecto de recirculación, presentándose ésta sólo cuando existen condiciones de viento desfavorables.

Los materiales usados en las torres son: madera tratada, asbesto, cemento, concreto y materiales plásticos; el soporte del relleno y el relleno son de madera tratada o plástico.

f) Torres de enfriamiento de tipo mecánico con tiro inducido y flujo cruzado (Figura 6).

El principio y funcionamiento de este tipo de torres de enfriamiento es parecido al desarrollado en las torres de enfriamiento de tiro inducido con flujo a contracorriente, con la excepción de que en este tipo de torres las persianas se localizan a todo lo alto de una o dos paredes de la torre; el flujo de aire entra en forma perpendicular a la caída de agua.

Los materiales empleados en este tipo de torres son los mismos que para las torres anteriores.

3.4 DESCRIPCION DE LAS PARTES DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO.

Una torre de enfriamiento está constituida por las siguientes partes principales:

1. Eliminadores de arrastre
2. Empaque
3. Soporte del empaque

4. Armazón
5. Chimenea
6. Ventilador
7. Sistema de distribución de agua
8. Persianas
9. Estanque

1. Los eliminadores de arrastre son dispositivos cuya finalidad es eliminar al máximo las pérdidas por arrastre de partículas de agua en el aire, su diseño es básicamente experimental. Existen tipos especiales para torres de flujo cruzado y para torres de contraflujo.

2. El empaque es el corazón de una torre de enfriamiento y debe tener las siguientes características:

- Propiciar un alto coeficiente de transferencia de calor y masa.
- Ofrecer baja resistencia al flujo de aire.
- Evitar la formación de canalizaciones de aire o agua.

De acuerdo al mecanismo de transferencia de calor y masa, se pueden clasificar los empaques en tres tipos básicos:

- a) Chapoteo o salpiqueo
- b) Película
- c) Combinado, película y salpiqueo

La selección del material del empaque deberá considerar que estará expuesto a ataques microbiológicos, corrosión, erosión, rayos infrarrojos y ultravioletas, existiendo las siguientes alternativas:

- Madera tratada

- Termoplásticos (PVC, polipropileno, etc.)

- Plásticos de fraguado térmico (con refuerzos de fibra de vidrio).

3. El soporte del empaque está constituido por los elementos estructurales de sujeción de las mallas, las mallas de sujeción que tendrán su tejido dependiendo del "pitch" horizontal y vertical que haya resultado del diseño.

4. El armazón de la torre tiene la función de soportar y sujetar todos los elementos que la componen. Puede ser construido de madera, acero o concreto armado.

5. La función básica de la chimenea es la de proveer un recinto alrededor de las aspas del ventilador que mejore la eficiencia de su funcionamiento al cubrir los siguientes aspectos importantes:

- Eliminar la turbulencia del aire en la garganta.
- Dar el efecto de chimenea en la expulsión del aire.
- Reducir la recirculación del aire.

Existen cinco tipos principales de chimeneas:

- a) Cilíndrica corta
- b) Cilíndrica larga
- c) Abocinada corta
- d) Eliptica corta
- e) Abocinada larga

6. El ventilador forma parte del sistema de inducción de aire a la torre, constituido por un accionador, un reductor de velocidad, la flecha y el ventilador. Con objeto de mover grandes volúmenes de aire a una velocidad baja y con una caída de presión mínima, debe seleccionarse el número de aspas, su ancho y torsión.

7. El sistema de distribución de agua se debe diseñar para que el agua se distribuya en forma adecuada a través de todo el empaque de la torre. Existen diferentes tipos de sistemas por gravedad y sistemas a presión, siendo el primero muy usado en torres de tipo cruzado y el segundo en torres de contraflujo.

8. Las persianas cubren la función principal de orientar el acceso de aire a la torre sin permitir pérdidas de agua. Hay cinco principales tipos de persianas:

- a) De línea simple
- b) De doble hilera
- c) Persianas largas
- d) Persianas transitorias
- e) Persianas inclinadas

Generalmente se fabrican del mismo material del armazón de la torre, aunque también hay de asbesto-cemento o metálicas.

9. El estanque de recolección de agua fría almacenará ésta, permitiendo a su vez, el asentamiento de las sustancias arrastradas por el agua, la dosificación de químicos y agua de reposición, así como también suministra las condiciones para el bombeo de agua.

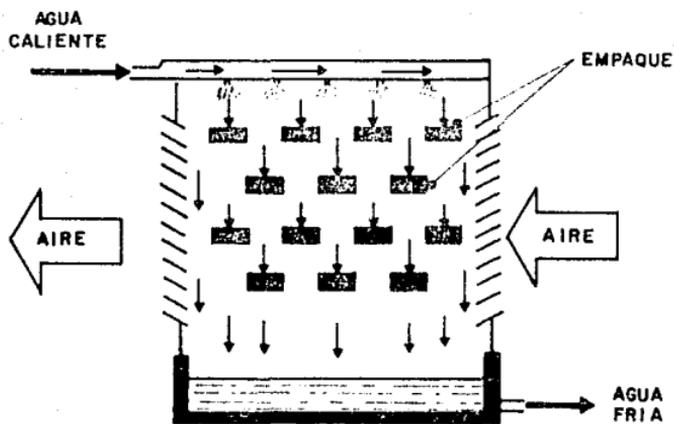


FIG. 1 TORRE ATMOSFERICA

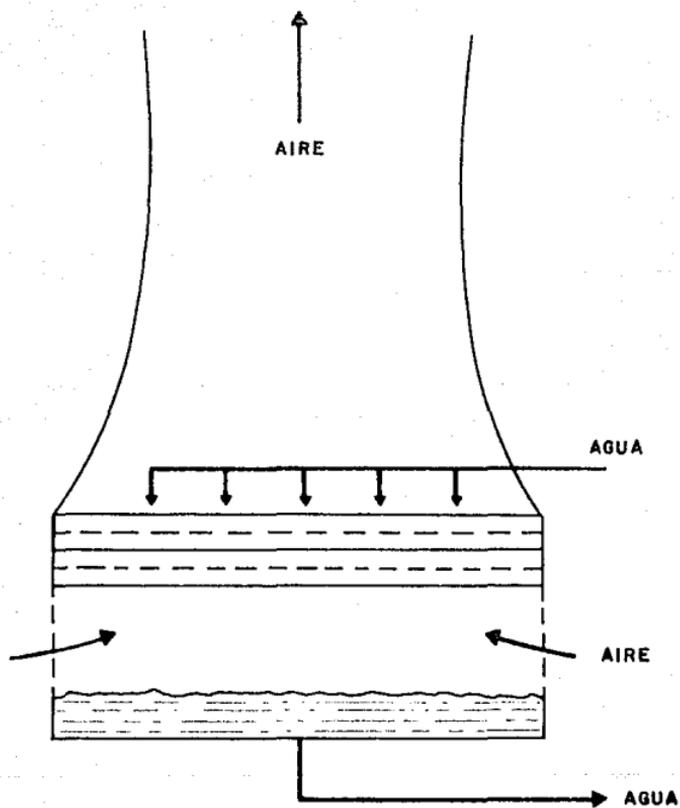


FIG. 2 TIRO NATURAL FLUJO CONTRACORRIENTE

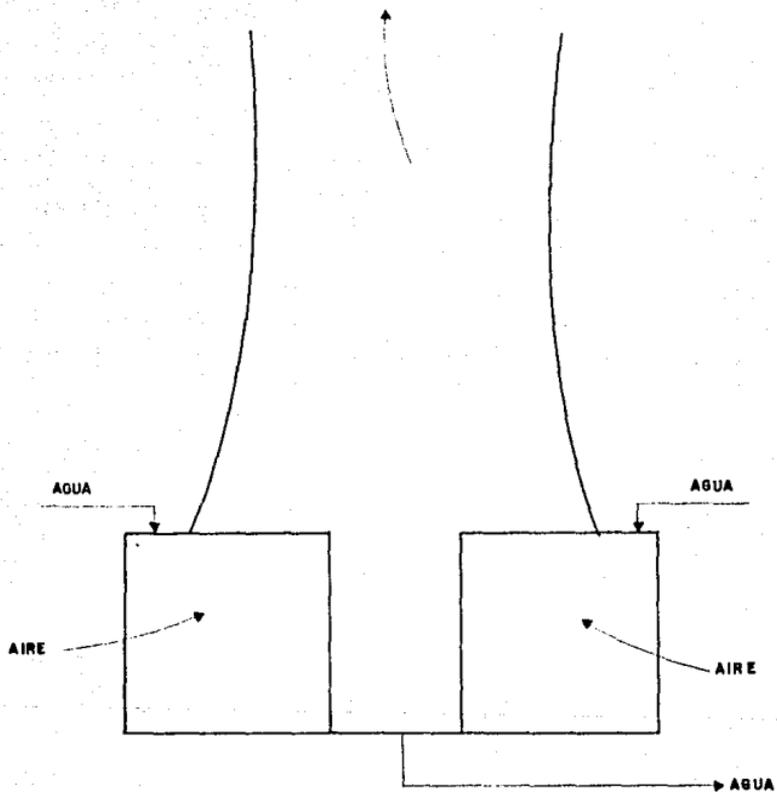


FIG. 3 TIRO NATURAL FLUJO CRUZADO

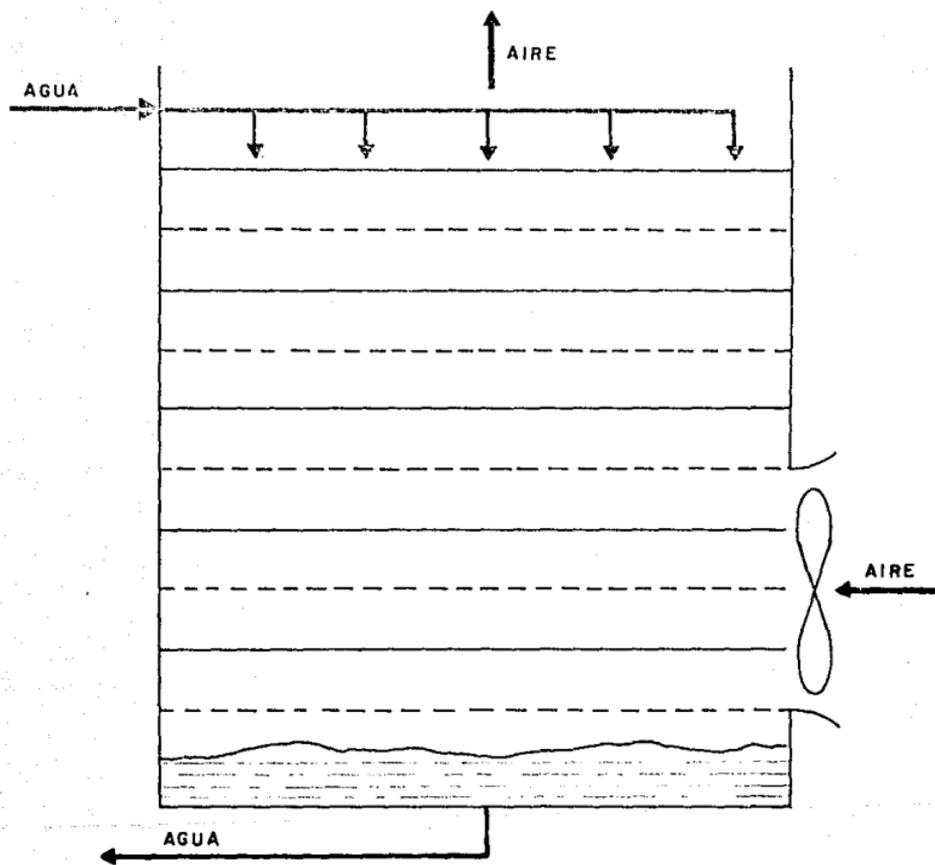


FIG. 4 TIRO FORZADO FLUJO A CONTRACORRIENTE

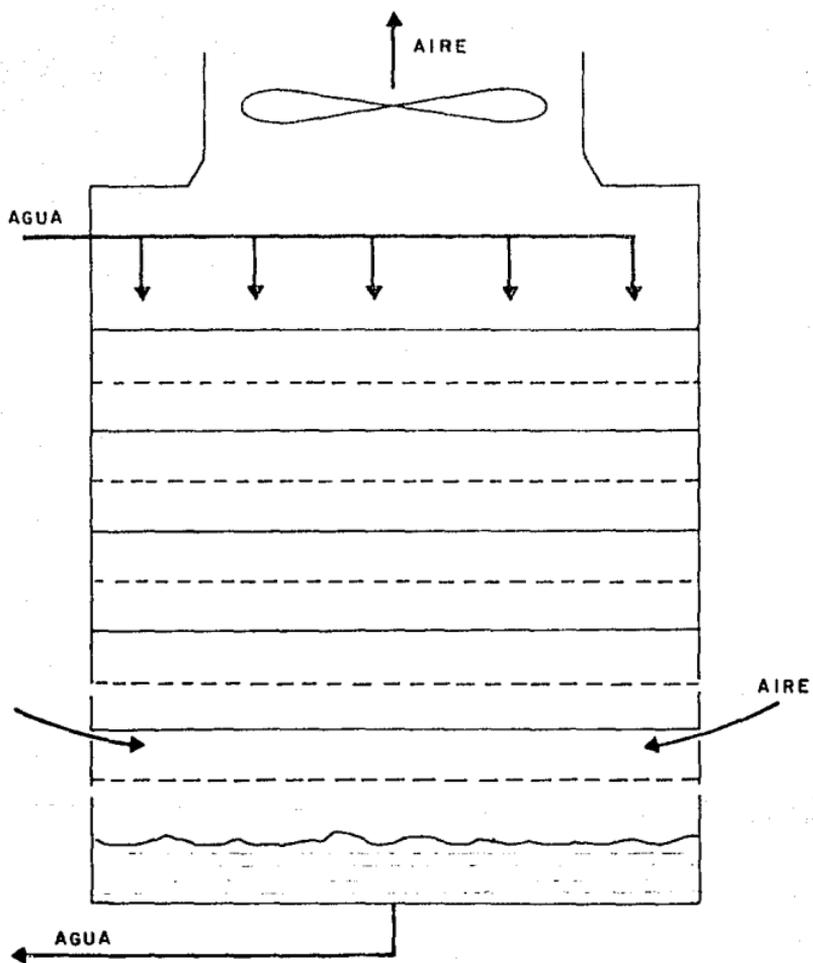


FIG. 5 TIRO INDUCIDO EN CONTRACORRIENTE

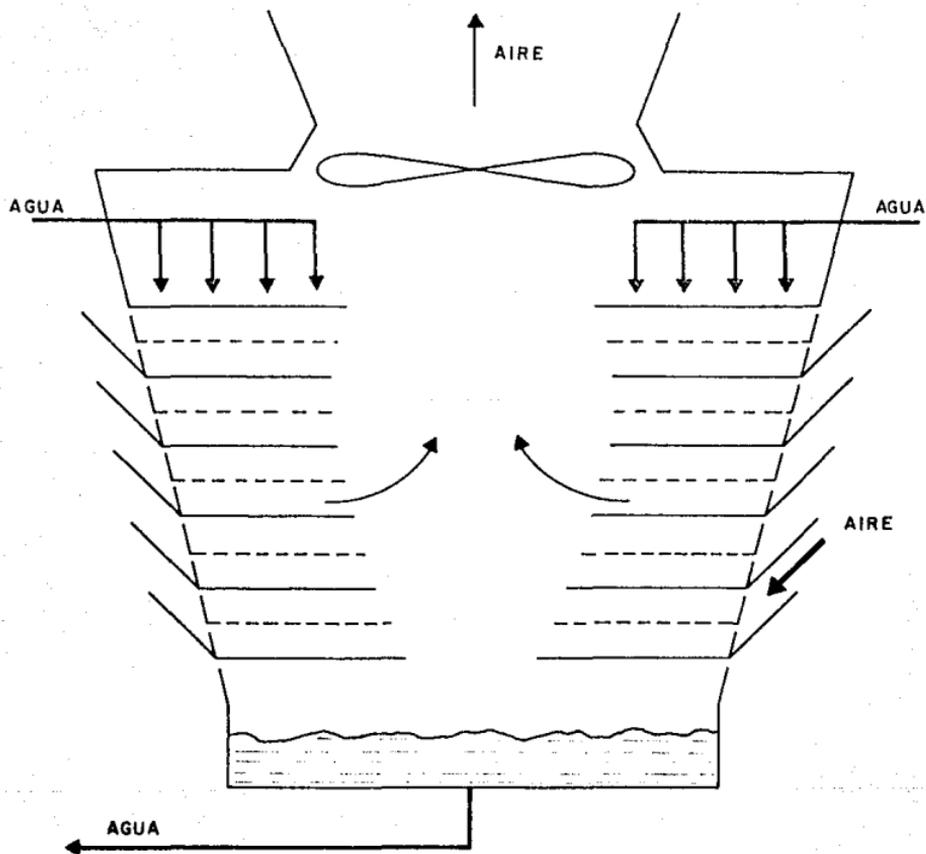


FIG. 6 TIRO INDUCIDO CON FLUJO CRUZADO

IV. VARIABLES QUE INCIDEN EN LA CORROSION DE UN SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO.

Todos los sistemas de enfriamiento tienen problemas totalmente similares, varían solamente en grado y dependen del tipo de agua usada y de los materiales de construcción.

Estos problemas caen dentro de tres categorías principales:

- 1.- Formación de depósitos (incrustación y ensuciamiento)
- 2.- Ensuciamiento biológico.
- 3.- Corrosión.

Estos fenómenos, por lo general, se desarrollan todos juntos, ya que rara vez se presentan la corrosión, la incrustación o el ensuciamiento en forma independiente, causando una pérdida en la transferencia de calor y una pérdida prematura de metal. Por ejemplo, el ensuciamiento biológico puede hacer que ocurran la incrustación y la corrosión; la corrosión puede contribuir al ensuciamiento por hierro y propiciar que ocurra más corrosión. Para romper este ciclo es importante identificar adecuadamente el problema para seleccionar y aplicar una solución práctica y económica.

4.1 TRATAMIENTO DE AGUA DE ENFRIAMIENTO.

Los tratamientos de agua tienen la finalidad de reducir los efectos de los depósitos, de la corrosión y del ataque biológico, en el componente más importante del sistema de enfriamiento: el cambiador de calor.

Todos los tipos de sistemas de enfriamiento de agua presentan los fenómenos anteriores en algún grado, cada uno tiene problemas específicos asociados con su diseño y operación. Para su prevención en un sistema de enfriamiento se emplean varias clases de tratamientos.

Los sistemas abiertos con recirculación invariablemente presentan los problemas de formación de depósitos, corrosión y el crecimiento de materia orgánica, incrementándose en la época calurosa del año.

Las torres de enfriamiento que están clasificadas dentro de los sistemas abiertos con recirculación, necesitan, por lo tanto, un tratamiento para el control de depósitos, corrosión y crecimiento de materia orgánica.

Para mantener una transferencia de calor eficiente económicamente en un nivel máximo, los cambiadores de calor deberán permanecer limpios. Para minimizar las fugas de producto y la consiguiente necesidad de paros por mantenimiento, se asegurará continuamente la integridad del metal del cambiador.

De esta manera, el objetivo primario del tratamiento es proteger la tubería de este equipo, que es donde tiene lugar la extracción del calor. El objetivo secundario del tratamiento son las líneas de distribución seguidas por los demás componentes del sistema. Por lo anterior, el agua de enfriamiento requiere de un tratamiento para la prevención de:

- 1) Incrustación.
- 2) Ensuciamiento.

3) Ensuciamiento biológico.

4) Corrosión.

4.2. INCRUSTACION.

La incrustación es una cobertura densa de materiales predominantemente inorgánicos que resultan de la sobresaturación del agua con minerales solubles. Estos depósitos reducen la transferencia de calor e incrementan la caída de presión a través de los cambiadores del sistema, ya que se llegan a unir fuertemente sobre la superficie metálica; la incrustación debe diferenciarse del ensuciamiento en que este último sólo se deposita sobre el metal.

Los materiales que más comunmente ocasionan la incrustación son: carbonato de calcio, sulfato de calcio, fosfato de calcio, silicato de magnesio y sílice (SiO_2).

Los menos frecuentes son: óxido de fierro, fosfato de zinc, fluoruro de calcio y carbonato ferroso.

Las incrustaciones se forman en las siguientes situaciones:

- Cuando el agua se calienta al pasar a través de un cambiador, se origina un decremento en la solubilidad de las sales disueltas, tales como el carbonato de calcio, sulfato de calcio, fosfato de calcio, depositándose en los cambiadores del sistema en las zonas donde la temperatura es más alta y, por tanto, las solubilidades más bajas.

- Cuando aumentan la dureza de calcio y la alcalinidad de bicarbonato en el agua de circulación por el efecto de concentración causado por la evaporación del agua.

- Cuando el agua llega a estar sobresaturada con sílice o cualquier otro compuesto formador de incrustación.

Una predicción de la formación de incrustación se puede hacer por la determinación de uno de los siguientes índices:

1.- Índice de Langelier (o de saturación).

2.- Índice de Ryznar (o de estabilidad).

3.- Índice de Puckorius (o de estabilidad modificada).

Para determinar uno de estos índices, se calcula primero el pH de saturación (pHs) por carbonato de calcio:

$$pHs = pCa + pALK + C$$

donde: pHs = pH de saturación

pCa = Factor logarítmico de la dureza de calcio

pALK = Factor logarítmico de la alcalinidad al
naranja de metilo expresada en ppm de CaCO₃

C = Factor logarítmico de sólidos totales en ppm
a la temperatura del agua.

En general, el cálculo de pHs para el carbonato de calcio resulta en un valor entre 5 y 11. Dependiendo del índice buscado, el siguiente paso es usar el valor en una de las siguientes fórmulas:

- Índice de Langelier (LSI)

$$LSI = pH_{act} - pHs$$

- Índice de Ryznar (RSI)

$$RSI = 2pHs - pH_{act}$$

- Índice de Puckorius (PSI)

$$PSI = 2pHs - pH_e$$

donde:

$pHe = pH$ de equilibrio basado en la alcalinidad total.

El índice de Langelier permite determinar la tendencia de un agua a precipitar o a disolver el carbonato de calcio. Un valor positivo del índice indica que el agua está sobresaturada y que tenderá a ser incrustante. Un valor negativo indica tendencia corrosiva del agua. Un valor de cero indica un agua en equilibrio.

El índice de Ryznar predice cuantitativamente la tendencia incrustante o corrosiva del agua. Cuando el agua tiene un índice de estabilidad de 6.0 ó menor la incrustación aumentará. Cuando el índice es superior a 7.0, las posibilidades de incrustación son remotas. Si el valor del índice de estabilidad es superior a 7.5, conforme este valor aumente, la tendencia corrosiva aumentará.

El índice de Puckorius también reporta valores positivos similares al anterior.

4.2.1. MEDIDAS PREVENTIVAS.

Existen tres métodos básicos para prevenir la formación de incrustación de calcio en los sistemas de agua de enfriamiento:

1. Removiendo todos los componentes que causan incrustación antes de usar el agua en el sistema.
2. Manteniendo en solución a los elementos incrustantes.

3. Controlando por modificación de la estructura cristalina, lo cual permite que la impureza precipite como un lodo, que es más fácil de remover que como un depósito duro.

REMOCIÓN DE LOS COMPONENTES QUE CAUSAN INCRUSTACIÓN.

Este es el método más directo para remover o reducir los componentes formadores de incrustación, esto es por:

- Ablandamiento cal-carbonato
- Intercambio iónico
- Osmosis inversa

MANTENIENDO EN SOLUCIÓN A LOS ELEMENTOS INCRUSTANTES.

Existen dos métodos para incrementar la solubilidad de los elementos incrustantes; se puede añadir:

- a) Ácidos
- b) Químicos solubilizantes

a) Ácidos

El ácido sulfúrico es el más utilizado, puesto que es el menos costoso, sin embargo, también son adecuados el ácido nítrico y el clorhídrico. Las sales de ácidos también son aplicables a sistemas de enfriamiento más pequeños. Otras posibilidades son los gases ácidos tales como: SO₂, CO₂ y los gases de chimenea.

Desafortunadamente, esta técnica no puede ser aplicada a la incrustación por sílice, ya que no se conocen químicos solubilizantes de éste, por lo que este tipo de incrustación sólo se puede prevenir manteniendo su concentración en el agua de enfriamiento por debajo de su límite de solubilidad.

b) Químicos solubilizantes

Son aquellos químicos que tienen la capacidad de mantener en solución el material incrustante. Los más comúnmente usados son los polímeros orgánicos (poliacrilatos) y los compuestos organofosforados.

Poliacrilatos.- Estos polímeros son efectivos para controlar el sulfato y el carbonato de calcio a altas temperaturas (arriba de 250°F), puesto que no se degradan fácilmente y son estables y solubles en altos y bajos niveles de pH, además no son tóxicos y son buenos dispersantes para el material en suspensión.

Compuestos organofosforados.- Estos compuestos mantienen las sales de calcio en solución, aún en valores altos de pH y altas concentraciones de minerales y bajo severas condiciones de incrustación.

Hay dos tipos de compuestos organofosforados: fosfonatos y ésteres fosfatados.

CONTROL POR MODIFICACION DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA.

Este método de control, practicado desde hace muchos años en sistemas de agua de enfriamiento, permite la formación de la incrustación, pero usa aditivos químicos que distorsionan la estructura del cristal, cambiando la incrustación a un lodo no adherente, el cual generalmente no se deposita sobre la superficie de los cambiadores.

Este método tiene la ventaja principal de permitir ciclos más altos de concentración (evaporación que provoca la concentración del contenido de sales en el agua de recirculación), que los químicos solubilizantes. También es efectivo a altas temperaturas.

Existen dos clases de químicos totalmente efectivos como modificadores de estructura cristalina, éstos son los ácidos polimaléicos y los poliestirenos sulfonados.

En el pasado se utilizaron químicos tales como: sulfonato de lignina, almidón, alginatos y taninos, para distorsionar la estructura del cristal, pero no fueron estables térmica ni biológicamente como los sintéticos.

La modificación del cristal inhibe la formación de incrustación produciéndose lodos, los cuales se asientan en el estanque de las torres de enfriamiento. Alternativamente se pueden tratar químicamente para mantenerse fluidizados hasta que se puedan remover externamente.

La remoción se efectúa por purgas en el estanque de la torre o por filtración lateral. El agua turbia es indicativo de que está teniendo efecto la modificación cristalina.

4.3 ENSUCIAMIENTO.

El ensuciamiento se define como los depósitos de materiales que no son formadores de incrustación, pero que interfieren con la transferencia de calor y con el flujo de agua.

El control de ensuciamiento en los sistemas de enfriamiento ha cobrado mayor importancia en los últimos años. Esto se debe principalmente a que los sistemas son operados por largos periodos entre limpiezas y a temperaturas y transferencias de calor más altas.

Por otra parte, el ensuciamiento es mayor debido a que se ha incrementado el uso de agua de mala calidad y a la recirculación de agua de desecho.

Otra circunstancia de ensuciamiento es causada por los productos de la corrosión y por los de la reacción de inhibidores, así como por las fugas de los productos del proceso que contaminan el agua de recirculación.

El ensuciamiento de la superficie de los equipos de transferencia de calor provoca un decremento en su eficiencia, además del taponamiento del equipo. La corrosión también se incrementa, puesto que el ensuciamiento evita que los inhibidores de corrosión alcancen la superficie del metal.

En esta forma, la importancia del control de ensuciamiento radica en no sólo mejorar la transferencia de calor, sino también para ayudar al control de corrosión.

AGENTES DE ENSUCIAMIENTO.

Los agentes de ensuciamiento los constituyen las sustancias insolubles que se encuentran en suspensión, e incluyen la materia que originalmente fué disuelta en el agua, pero que precipitó, debido a alguna reacción química.

Hay dos tipos de ensuciamiento: el que ocurre naturalmente y el que ocurre artificialmente.

ENSUCIAMIENTO NATURAL.

Este tipo de ensuciamiento se debe a la suciedad natural presente en el medio ambiente y entra al sistema con el agua o con el aire:

Con el agua: - Lodo y sedimentos

- Materia orgánica
- Sólidos disueltos
- Microorganismos
- Macroorganismos

Con el aire: - Gases

- Polvo y basura (del suelo)
- Vegetación
- Microorganismos
- Macroorganismos

ENSUCIAMIENTO ARTIFICIAL

Los agentes de ensuciamiento artificial son originados por el hombre y entran al sistema con el agua, el aire o con los químicos adicionados.

También se pueden introducir al sistema por sí mismos, como por ejemplo los productos metálicos de la corrosión y fibras de la madera de las torres de enfriamiento.

Con el agua: - Coagulantes

- Flocculantes
- Fosfatos

- Detergentes
- Aguas negras

Con el aire: - Gases orgánicos

- Amoníaco
- Acido sulfhídrico
- Dióxido de azufre

En el sistema: - Productos de corrosión

- Reacción de inhibidores
- Contaminantes del proceso
- Conservadores de madera

4.3.1 CONTROL DE ENSUCIAMIENTO.

El primer paso para solucionar el problema es conocer el análisis del agua y los depósitos existentes para identificar la fuente principal de ensuciamiento, lo cual ayudará en el desarrollo de un programa de tratamiento adecuado para remover los depósitos.

Además de prevenir la entrada de suciedades dentro del sistema, en primer lugar el ensuciamiento de las superficies de los cambiadores de calor, éste puede ser controlado ya sea por remoción mecánica de la suciedad o por tratamiento químico.

Con gran éxito se usa una prevención mecánica y química, más un método de limpieza química.

REMOCION MECANICA

Los clarificadores y otros separadores de sólidos son dispositivos mecánicos usados para reducir la cantidad de sólidos suspendidos, desperdicios y algunos minerales y compuestos orgánicos disueltos en el agua de reposición.

Los filtros tienen un amplio uso en aguas de enfriamiento. En sistemas de un solo paso la filtración generalmente no se practica, no obstante, se usan dispositivos burdos de varios tipos: colectores de basura, enrejados, etc., para quitar peces, ramas, hojas y otros desechos grandes.

TRATAMIENTO QUIMICO

Los tratamientos químicos son eficientes si se usan apropiadamente, pero todos tienen limitaciones y requieren una pareja apropiada para la suciedad en particular y las condiciones de ensuciamiento.

La cantidad de químicos usados deberá ser cuidadosamente establecida y controlada, puesto que niveles insuficientes producen muy poco o ningún control y una sobredosis puede ser dañina, así como un despilfarro.

Los agentes más convenientes para el control de ensuciamiento son los siguientes:

- a) Dispersantes
- b) Fluidizadores de lodo
- c) Surfactantes

a) Dispersantes.

La función de los dispersantes es provocar la ruptura de la suciedad hacia partículas más pequeñas y mantenerlas en suspensión en el agua de enfriamiento. Esto previene la formación de depósitos y permite la remoción de la suciedad del sistema por medio de purgas o de filtración.

Los dispersantes son de dos tipos:

- Naturales: Ligininas y Taninos

- Sintéticos: Poliacrilatos

b) Fluidizadores de lodo.

La función de los fluidizadores de lodo es en forma opuesta a la de los dispersantes.

Los fluidizadores sirven para flocular (aglomerar) sólidos finos en suspensión y formar partículas mucho más grandes.

Los agentes químicos de mayor uso son los polímeros solubles en agua y de alto peso molecular (en millones), éstos abarcan las poliacrilamidas. Su función es la aglomeración de sólidos en suspensión en partículas grandes inaderibles que fluyen hacia afuera del sistema.

Esta acción de floculación no sólo fluidiza las suciedades, sino también provoca que las partículas sean dispersadas hacia afuera, manteniéndose alejadas, dando así la impresión de "hinchazón" del depósito.

Esto permite llevar a las partículas hacia afuera más fácilmente y mejorar la transferencia de calor aún en presencia de sedimentos.

c) Surfactantes.

Estos agentes son usados para suciedad aceitosa o gelatinosa, ayudando a dispersar aceites, grasas y depósitos biológicos en el agua de enfriamiento, tal que éstos puedan ser removidos por las purgas.

Generalmente son de baja espuma, no iónicos y son adicionados tanto como se requiera en el sistema.

Se pueden añadir, si es necesario, dosis diarias de 10-20 ppm de surfactante activo, dependiendo de la cantidad aceitosa presente, puesto que también ayudan a la dispersión biológica de masas lamosas.

4.4. ENSOCIAMIENTO BIOLÓGICO.

La presencia y crecimiento de materia orgánica conduce al taponamiento de los pasos de agua, al deterioro del metal causado por la corrosión y al de materiales tales como la madera de la torre de enfriamiento.

En un sistema de torre de enfriamiento, la temperatura y el pH del agua de enfriamiento son ideales para el crecimiento microbiológico, y la presencia de sales orgánicas e inorgánicas asegura plenamente los nutrientes. La luz solar y el O₂ mejoran el medio ambiente ya de por sí favorable.

Los contaminantes microbiológicos entran al sistema de enfriamiento ya sea en el agua de reposición o por el aire que está depurándose al pasar a través de la torre de enfriamiento. Esta acción depuradora también introduce con el aire sedimento, basura, hojas, fragmentos de madera y gases disueltos. Esto proporciona una abundante fuente de nutrientes, junto con químicos, aceites y grasa de fugas dentro del sistema de recirculación y posibles tratamientos químicos.

Quando las bacterias, hongos, algas y otros organismos entran al sistema, buscan el medio ambiente más apropiado para su crecimiento. Las algas generalmente florecen sobre las superficies de distribución de las torres de enfriamiento, donde están en contacto directo con la luz solar.

Las bacterias y hongos se establecen en cualquier área donde sean capaces de sedimentarse y adherirse.

Las acumulaciones de estos organismos son conocidas como lama y si ésta no es controlada, puede reducir significativamente la transferencia de calor y agravar la corrosión en el conjunto condensador-tubos.

BACTERIAS.

Las bacterias es el grupo más grande de los organismos perjudiciales y ocasionan los más variados problemas. Generalmente se les clasifica en el tratamiento de agua por los tipos de problemas que causan: depositadoras de hierro, reductoras de sulfato y nitrificadoras. Cada grupo tiene su ambiente preferido y se desarrolla en áreas específicas de un sistema de agua.

HONGOS.

Las lamas mohosas son crecimientos de hongos en combinación con bacterias. Estos se alimentan de bacterias, esporas de otros hongos y de pequeñas partículas de materia.

Estas masas lamosas o viscosas, que varían enormemente en tamaño y color, toman una forma que depende fundamentalmente del sustrato.

Dados los nutrientes apropiados, humedad y temperatura, el cuerpo viscoso se mueve parecido a una amiba, tomando comida e incrementando su tamaño. Llega a ser inactivo y duro cuando las condiciones son temporalmente desfavorables.

ALGAS.

Las algas, una fuente principal de disturbio en sistemas de circulación de agua, se encuentran como simples células o largos ramales. Crecen como masas de lama libre de flotación sobre la superficie del agua, o junto a la estructura de la torre o del estanque.

Cuando las algas se adhieren a las superficies del metal, aceleran la corrosión por picaduras, debido a la acción de despolarización del oxígeno realizada durante el proceso metabólico.

Los crecimientos masivos, por otra parte, impiden el proceso de los tratamientos biológicos por la absorción de los biocidas (productos químicos tóxicos para microbios).

4.4.1. CONTROL DEL ENSUCIAMIENTO BIOLÓGICO.

Los dos tipos más comúnmente empleados como biocidas son los oxidantes y los no oxidantes.

Su efectividad contra los microorganismos está bien establecida y el único aspecto cuestionable, es el posible efecto ambiental de las sustancias químicas que persisten más allá de los límites de la planta.

La primera decisión en un tratamiento biológico es usar o no usar químicos oxidantes.

La elección entre microbiocidas oxidantes o no dependerá de las limitaciones sobre sustancias tóxicas. Los parámetros de operación de los sistemas de enfriamiento también afectan la elección. La temperatura, el pH y el diseño del sistema son consideraciones fundamentales en una decisión entre tóxicos oxidantes contra no oxidantes.

El cloro es el biocida industrial oxidante más familiar y efectivo. Cuando el cloro gaseoso es introducido al agua, ésta se hidroliza para formar ácido clorhídrico e hipocloroso. Este último es el que tiene el efecto biocida principal.

El aumento en la preocupación por los efectos ambientales de descarga de cloro residual ha conducido a limitaciones reglamentarias en su uso. Esto ha originado métodos variados en la formulación del cloro y en las técnicas de aplicación.

Algunas técnicas de "minimización de cloro" son las siguientes:

- Clorinación intermitente
- Clorinación - desclorinación
- Dióxido de cloro
- Cloruro de bromo (su uso tiende a desaparecer por causar contaminación)

QUIMICOS NO OXIDANTES.

En algunas situaciones los tóxicos no oxidantes demuestran ser más efectivos que sus contrapartes oxidantes, o también son usados en combinación con éstos para ampliar el control.

Muchos operadores de planta clorinan intermitentemente y añaden un agente no oxidante, una o dos veces a la semana, para mejorar el control microbiano.

FRNOLES CLORADOS.

Los fenoles clorados han disfrutado de extenso uso, pero recientemente han perdido preferencia. Mezclándolos con agentes de superficie aniónica activa incrementan marcadamente su actividad.

COMPUESTOS ORGANO-ESTANADOS.

Estos compuestos son conocidos por su toxicidad para las algas, moho y organismos que pudren la madera.

SALES DE AMONIO CUATERNARIO.

Estos químicos de superficie catiónica activa son orgánicamente sustituidos por compuestos de nitrógeno, que son más efectivos en contra de algas y bacterias.

Algunos de los problemas asociados con el uso de estos compuestos, provienen del hecho de perder su actividad en sistemas duramente ensuciados con lodo, aceite y desechos.

COMPUESTOS ORGANO-SULFURADOS.

Estos compuestos tienen baja toxicidad, son solubles en agua y fáciles de usar. Son altamente efectivos contra hongos y en la formación de lodo bacteriano, particularmente de la bacteria reductora de sulfato.

SALES DE COBRE.

Las sales de cobre han sido ampliamente usadas como algicidas y bactericidas. Sin embargo, el moho y los hongos son generalmente resistentes a su acción.

Su uso se ha limitado en los últimos años por ser tóxicas para el medio ambiente.

SELECCION Y APLICACION.

La aplicación combinada de microbiocidas y un antiensuciante proporciona un control superior, inhibiendo el crecimiento bacterial en un grado mayor.

En la selección de un programa se deberá tomar en cuenta que el elemento esencial en la determinación de la capacidad de un microbiocida es la resistencia ofrecida por el microbio. La primera línea de resistencia es la impermeabilidad de la membrana. Un segundo determinante es la habilidad del organismo para desarrollar inmunidad por mutación genética o por agentes químicos introducidos al sistema.

Los microbiocidas generalmente son alimentados intermitentemente hacia el sistema para provocar la reducción rápida y efectiva de la población de la cual los organismos no pueden recuperarse fácilmente.

4.4.2. FACTORES QUE GOBIERNAN EN EL CONTROL DE ENSUCIAMIENTO BIOLÓGICO.

La finalidad de los programas de control es la reducción en un 99% de la población de organismos, haciendo uso de uno o más biocidas. Algunas combinaciones han mostrado efectos sinérgicos (acción combinada de varios productos químicos que producen un efecto mayor que los efectos aditivos de cada uno).

La selección de los microbiocidas involucra algunos factores. De hecho deberán ser efectivos en la eliminación de la actividad microbiana, pero también deben proporcionar un programa económico.

El uso de biocidas oxidantes es bastante común, pero su eficacia depende de un control cuidadoso en su adición al agua de enfriamiento. Si esto no puede asegurarse, deberán ser descartados para evitar problemas. La designificación de la madera es un ejemplo, puesto que ésta resulta de la aplicación en exceso de un oxidante; el uso de un biocida no oxidante sería preferible.

Los efectos ambientales son otro factor, los problemas de disposición, debido a la persistente toxicidad, han limitado el uso de ciertos biocidas en muchas regiones. Otras situaciones requieren de un biocida que pueda desintoxicarse fácilmente antes de purgar el sistema de enfriamiento.

V. CORROSION Y SU CONTROL EN AGUA DE ENFRIAMIENTO.

5.1 CONCEPTOS GENERALES DE CORROSION.

La corrosión es la destrucción de un metal por interacción química, electroquímica y, en menor grado, por factores biológicos y mecánicos.

Generalmente es lenta pero de carácter persistente. La causa principal de la corrosión es la inestabilidad de los metales en sus formas refinadas, los cuales tienden a volver a sus formas originales a través de los procesos de corrosión.

Un ejemplo se puede ilustrar con el fierro. En su forma mineral (hematita) es un óxido de fierro (Fe_2O_3), después de su purificación y elaboración en un acero se convierte en fierro elemental y por el mecanismo de la corrosión se formará nuevamente Fe_2O_3 .

Para que la corrosión exista se requiere la presencia de las siguientes variables:

- Oxidación del metal. Es el proceso de liberación de electrones de los átomos de los metales.
- Conductividad electrónica del metal. Es la propiedad del metal de no oponer resistencia al flujo de electrones.
- Reducción de las especies en solución. Es lo opuesto a la oxidación en la cual los electrones cedidos por el metal en la oxidación son absorbidos por la solución.
- Conductividad electrolítica en la solución. Es la propiedad del medio ambiente para facilitar el flujo eléctrico.

- Transferencia de carga en la interfase metal-ambiente. Es la facilidad de intercambio eléctrico entre el metal y el ambiente. Las características más importantes que influyen en la cantidad y velocidad de la corrosión son las siguientes:

- Presencia de oxígeno.
- Cantidad de sólidos disueltos o suspendidos.
- Grado de alcalinidad o acidez.
- Velocidad del agua.
- Temperatura.
- Presencia de crecimiento biológico.

FORMAS DE CORROSION.

La literatura registra ocho formas principales en las que la corrosión se manifiesta:

- 1.- Corrosión uniforme. Es el tipo de ataque "mas deseable" porque se puede evaluar de una forma más aproximada la vida útil probable de las líneas y equipos.
- 2.- Corrosión galvánica. Esta forma relativamente común de corrosión se presenta cuando dos metales diferentes están en contacto físico y se exponen a un ambiente acuoso. En tal caso, el metal más activo se corroe rápidamente; un metal se vuelve catódico y el otro anódico, estableciéndose una celda galvánica.
- 3.- Corrosión por celdas de concentración. De la misma forma que los metales distintos generan una corriente galvánica, con una concentración dada de agua, puede establecerse también ésta cuando el mismo metal se expone a diferentes concentraciones (fuerzas iónicas) de soluciones acuosas formando una zona anódica

y una catódica, muy cercanas una de la otra. El ataque que ocurre en el ánodo como resultado de este mecanismo se efectúa en la solución más concentrada.

4.- Ataque selectivo. Es otro tipo de corrosión localizada en la cual se presenta la remoción selectiva de uno de los elementos en una aleación por disolución completa o parcial del elemento anódico en la matriz metálica.

Los tipos más comunes son la deszincificación y la desgrafitación.

5.- Corrosión por picadura. Es la más destructiva e insidiosa forma de corrosión. Es un ataque extremadamente localizado que da como resultado perforaciones en el metal. Las fallas que ocasiona son generalmente repentinas, debido a que no es fácil su detección oportuna.

La picadura ocurre cuando se establece una celda electrolítica, en la cual una pequeña área anódica está en contacto con una área catódica grande.

Cuando los hoyos son pocos y ampliamente separados y la superficie del metal sufre poca o nada de corrosión general, hay una alta relación de área cátodo-ánodo y la penetración progresa más rápidamente que cuando los hoyos son numerosos y cercanos entre ellos.

Algunas causas de picadura son la falta de homogeneidad local sobre la superficie del metal, las pérdidas locales de pasividad, la ruptura mecánica o química de la capa protectora de óxido.

corrosión galvánica de un cátodo relativamente distante y la formación de un ión metálico o de una celda de concentración de oxígeno bajo un depósito sólido (grieta de corrosión).

6.- Erosión-Corrosión. Este tipo de corrosión incluye condiciones tanto físicas como químicas y produce una alta velocidad de pérdida de metal, penetrando en una área localizada. Se presenta cuando se aplica una fuerza física a la superficie metálica por medios corrosivos como gases, soluciones acuosas, sistemas orgánicos, metales, líquidos y partículas sólidas con fuerza suficiente para desgastar las películas de pasivación, naturales o aplicadas, del metal.

Este proceso ocurre en forma repetida y cada vez ocasiona la remoción de capas metálicas de oxidación.

7.-Corrosión intergranular. Es una forma de corrosión localizada en la que el ataque se presenta en los límites de grano y en las zonas adyacentes a él. Se inicia en la superficie del metal y se propaga por una acción de celda de concentración a los límites de grano, en los cuales se genera una diferencia en la composición química.

8.- Corrosión bajo esfuerzo. Es una forma de corrosión que se manifiesta por la presencia de fracturas. Dentro de ésta se encuentra la corrosión bajo esfuerzo y la corrosión por fatiga. La corrosión bajo esfuerzo se presenta en los metales sujetos a esfuerzos de tracción en un ambiente corrosivo. El esfuerzo en el metal puede ser aplicado por cualquier tipo de fuerza externa que

produce alargamiento o flexión; también puede deberse a los esfuerzos internos encerrados en el metal durante la fabricación por laminado, embutido, formado o soldado del metal.

La corrosión por fatiga es el resultado de la combinación de un ambiente corrosivo con el trabajo repetido de un metal. La fatiga es originada por la aplicación cíclica de esfuerzos.

5.2 CONTROL DE CORROSION EN TORRES DE ENFRIAMIENTO.

En el capítulo anterior se indicaron los procesos para eliminar las impurezas del agua, que conjuntamente con mantener un valor adecuado de pH (7.0 a 8.5), conducen a reducir la tendencia corrosiva del agua, sin embargo, se requiere de un programa de inhibidor químico para controlar la corrosión.

En un sistema de agua de enfriamiento se presentan uno o más de los tipos de corrosión descritos en el punto 5.1. Puesto que es necesaria una celda electroquímica para que exista corrosión, el método preventivo más lógico es destruir o interrumpir la celda. Un procedimiento consiste en imponer una barrera no conductiva entre el metal y el electrólito, la cual puede ser una capa o incrustación delgada adherente sobre la superficie del metal, aislándolo del electrólito.

Para lo anterior existen varios agentes químicos llamados inhibidores de corrosión que protegen al metal con una capa tan delgada que no afecta la transferencia de calor. Estos químicos reducen o paran la corrosión interfiriendo con el mecanismo de ésta. En la práctica, afectan ya sea el ánodo o el cátodo de la celda de corrosión.

Su clasificación es la siguiente:

Anódicos	Catódicos
Cromato	Polifosfato
Ortofosfato	Zinc
Nitrito	Molibdato
Ortosilicato	Polisilicato

Cuando los inhibidores de corrosión se adicionan por primera vez al sistema de agua de enfriamiento, se introducen en grandes cantidades para formar la película protectora (de dos a cinco veces la cantidad de dosificación normal), puesto que hay una demanda de inhibidor en todas las partes de la superficie metálica. Si la concentración inicial es insuficiente, hay una buena posibilidad de no inhibir la corrosión y una probabilidad de incrementarla. La necesidad de una alta dosis inicial aplica no sólo a un sistema nuevo o limpio, sino también a uno que ha perdido su película protectora. Esto puede deberse a un pH bajo, a una mayor condición de corrosión o a la pérdida de capacidad de alimentación del inhibidor.

Los requisitos primordiales para la selección del inhibidor de corrosión adecuado para un sistema de enfriamiento son los siguientes:

- Conocimiento de los metales utilizados en el sistema.
- Conocimiento de la susceptibilidad a la corrosión en las condiciones de operación encontradas en el sistema.
- Familiaridad con las limitaciones ambientales de los químicos usados para el control de corrosión.

5.2.1 INHIBIDORES ANÓDICOS.

Los inhibidores de corrosión anódicos llamados también pasivadores, interfieren en las reacciones anódicas. Aunque son efectivos, tienen un riesgo: si se aplican en cantidades insuficientes, no vuelven pasivos los puntos anódicos y todo el potencial se concentrará sobre los sitios desprotegidos, lo cual puede resultar en severas picaduras. Debido a esto, los inhibidores anódicos son llamados "inhibidores peligrosos".

CROMATO. El cromato es probablemente el mejor y el más usado. Actuando como pasivador proporciona protección al acero reaccionando con los iones ferroso (Fe^{++}), para formar una capa de óxido dura y pasiva sobre la superficie metálica. Aunque es extremadamente efectivo en un rango de pH de 5 a 10, causa severas picaduras si es aplicado en dosis tan bajas que el ánodo no sea cubierto.

Actualmente, el uso de cromatos está limitado, ya que se ha encontrado que son tóxicos.

ORTOFOSFATOS. Los ortofosfatos pertenecen a una familia que está ganando popularidad debido a que son inofensivos al medio ambiente. Son buenos inhibidores de corrosión anódicos y son menos complejos y más estables que los fosfatos. Desafortunadamente, deben usarse en altas concentraciones para que sean efectivos, por lo que pueden ocasionar incrustación con el calcio y ensuciamiento con el hierro. Con el advenimiento de los polímeros para el control de incrustación y ensuciamiento, se les ha otorgado mayor atención como sustitutos de los cromatos.

NITRITOS. Los nitritos fueron los primeros inhibidores anódicos introducidos y han sido usados en combinación con polifosfatos. Como son inhibidores "peligrosos" al igual que los cromatos, deben usarse en grandes dosis y pH arriba de 7.5 para evitar el ataque por picadura. Son excelentes inhibidores para sistemas cerrados, pero son inadecuados para sistemas abiertos, debido a que se oxidan y suministran nutrientes para los organismos.

ORTOSILICATOS. Los ortosilicatos son de interés debido a su éxito en el tratamiento de agua potable. Sin embargo, son lentos en su efecto y no son muy efectivos en sistemas de enfriamiento de agua aun en altas dosis. Como agentes pasivadores, contribuyen a severas picaduras.

5.2.2 INHIBIDORES CATODICOS.

Los inhibidores catódicos interfieren en las reacciones catódicas. Son considerados inhibidores seguros debido a que no promueven el ataque por picadura. En general, funcionan reduciendo la velocidad de corrosión mediante la formación de una barrera o película en el cátodo, restringiendo la migración del ión hidrógeno o del oxígeno a la superficie catódica para completar la reacción de corrosión.

POLIFOSFATO. Polifosfato es un término que abarca muchos químicos específicos. Las formas químicas piro, tripoli y hexametafosfato son inhibidores catódicos que trabajan formando una capa o una delgada incrustación que contiene calcio, fierro y fosfato sobre las regiones de superficie catódica. Se requiere un mínimo de 100

ppm de dureza de calcio para formar adecuadamente la película protectora y tiende a formar una incrustación si la dureza de calcio excede a 600 ppm.

Varios problemas están asociados con el uso de los polifosfatos. Generalmente causan ensuciamiento y protección reducida a bajas velocidades de agua (menos de 1 ft/seg) y en agua que fluye a más de 15 ft/seg las películas producidas son fácilmente dañadas. Los polifosfatos también son nutrientes para el crecimiento de algas en torres de enfriamiento. Cuando son descargados en sistemas de aguas residuales, ocasionan el crecimiento de algas y contribuyen a la eutroficación (enriquecimiento del agua que causa un excesivo crecimiento de plantas acuáticas y una sofocación eventual y desoxigenación del cuerpo de agua). Los polifosfatos no protegen al cobre ni al aluminio.

ZINC. El zinc es un inhibidor catódico sólo para el acero. Su mecanismo protector es la formación de un depósito de hidróxido de zinc en el cátodo.

MOLIBDATOS. Los molibdatos son utilizados como inhibidores de corrosión catódicos para acero. Tienen efectos menores sobre los tratamientos residuales biológicos y se consideran no tóxicos.

POLISILICATOS. Los polisilicatos funcionan bien protegiendo acero, cobre y aluminio. Desafortunadamente, su capa protectora es difícil de formar y fácilmente destruida. Los polisilicatos no se usan si el agua de enfriamiento contiene más de 10 ppm de sílice natural.

5.3 MONITOREO DE LA CORROSION.

Especificar un programa para el tratamiento de un sistema de agua de enfriamiento es sólo una parte del trabajo. Para asegurar que el sistema presente una protección adecuada, el Químico o el Ingeniero de Planta responsable deberán estar preparados para ejecutar o monitorear todos los análisis necesarios para rastrear el ensuciamiento biológico, los depósitos y la corrosión. La selección de los métodos de monitoreo debe concordar con las características del sistema. Debido a la gran inercia química asociada en una torre de enfriamiento, un problema puede no hacerse aparente por varios días después de su surgimiento.

El efecto de un problema no es fácilmente asociado a la causa. En la clorinación del agua, por ejemplo, una interrupción temporal es raramente detectable en la mayoría de los sistemas de enfriamiento. Sólo cuando el sistema es muy sensible a una ligera depositación sobre las superficies de transferencia de calor es posible ver el efecto y puede comenzar a crecer una capa de lama, seguida por una infestación de organismos anaeróbicos debajo de ésta. Varias semanas o meses mas tarde aparecerán picaduras en el intercambiador.

La mayoría de los métodos son diseñados para detectar problemas antes de que causen severos daños. La información que se obtiene del monitoreo de la corrosión depende del tipo de método usado.

Son dos los procedimientos más ampliamente aceptados:

- 1.- Pérdidas de peso. Donde las pérdidas de metal se determinan por el cambio en el peso del espécimen expuesto.

2.- Medidas eléctricas. Las pérdidas de metal se determinan por el cambio en la polarización del espécimen.

5.3.1 PERDIDAS DE PESO.

La corrosividad por pérdidas directas de peso se determina por la exposición de un cupón en una corriente de agua. El cupón es previamente pesado y de área conocida; después de la prueba se limpia y se vuelve a pesar. La diferencia entre los dos pesos representa la cantidad de metal perdido. Los procedimientos para la medición de la corrosividad del agua de enfriamiento por este método están establecidos en los estándares del ASTM.

En la figura 7 se muestra un ensamble típico para montar los cupones en los sistemas de agua de enfriamiento.

Estos ensambles se pueden hacer para exponer uno o más cupones y generalmente se localizan en las líneas de retorno hacia la torre de enfriamiento (en este punto la temperatura del agua es mayor). Los cupones de corrosión deberán ser expuestos a una velocidad del agua entre 3 y 5 ft/seg, lo cual proporciona resultados más significativos.

Para acondicionar la superficie de los cupones nuevos, éstos deberán lavarse y restregarse ligeramente con acetona e isopropanol y así remover aceites, antioxidantes y grasa. Generalmente las superficies son lavadas por chorro de arena y llevadas a un desecador durante 24 horas, para prevenir cualquier humedad antes de su inmersión en el agua de enfriamiento.

El periodo de prueba tipico es de 30 dias. se recomienda la instalacion múltiple de cupones (minimo tres) por sistema, con el fin de que se coloque uno con tiempo de exposicion de 30 dias y el último de 90 dias.

Puesto que el cupón proporciona la informacion de la corrosión acumulada en el sistema, son recomendables los periodos largos de exposicion para minimizar el efecto de la rápida corrosión sufrida por el cupón en sus primeros dias de exposicion.

Para identificar variaciones diarias, la prueba de polarización, una de las técnicas descritas abajo, es mejor para este propósito.

Al final del periodo de prueba se retiran los cupones, tomándolos con cuidado para no perder los depósitos de la superficie. Los cupones se secan en un horno y después se colocan en un desecador hasta que su peso sea constante. El depósito se quita para ser analizado.

Posteriormente, los cupones se someten a un método de limpieza apropiado.

Los métodos de limpieza atacan al metal y se suman a la corrosión sostenida durante la exposicion, por lo que los cupones nuevos del mismo metal y tamaño deberán pesarse y someterse al mismo procedimiento de limpieza.

Las pérdidas en peso de este cupón deberán restarse de las pérdidas de peso del cupón expuesto, para determinar la velocidad de corrosión durante el periodo de exposicion.

Una vez limpia la muestra, se revisara para indicar la presencia de ataque localizado o picaduras. La apariencia de la muestra se puede describir como: ataque generalizado, ataque localizado uniforme, ataque localizado severo, expresando el área del ataque localizado como un porciento del área expuesta. Cuando existan picaduras se deberá determinar la frecuencia de éstas en términos de picaduras por centímetro cuadrado.

La velocidad de picadura se reportará en términos de máxima profundidad en milésimas de pulgada.

La velocidad de corrosión se calcula de la pérdida de peso del cupón, como un promedio de penetración sobre el periodo expuesto con la siguiente ecuación:

$$mpa = 22w / (d * A * t)$$

donde: w= pérdida de peso en miligramos,
 d= gravedad específica del metal en g/cm³
 A= área expuesta del cupón en pulgadas cuadradas
 t= tiempo de exposición en días

Las gravedades específicas de algunos metales son: Admiralty 8.17; cobre 8.9, bronce amarillo 8.02, aluminio 2.7 y acero al carbón 7.85.

La velocidad de picadura se calcula usando la siguiente ecuación:

$$Pr = (\text{Prof. máxima de picadura} * 365) / t$$

donde: Pr= velocidad de picadura en milésimas por año
 t= tiempo de exposición.

El reporte de resultados deberá incluir lo siguiente:

Localización en el sistema, número de espécimen, metal, fechas de exposición, longitud de exposición, temperatura del agua, velocidad, peso, tipo y color del depósito, velocidad promedio de corrosión, velocidad promedio de picadura, apariencia visual del espécimen ya limpio, dando tipo y severidad del ataque. Una vez evaluados, los cupones deberán guardarse para el departamento de Inspección de la Planta.

5.3.2 MEDICIONES ELÉCTRICAS.

En contraste a los efectos acumulativos registrados por los cupones de corrosión, las mediciones eléctricas proporcionan un estimado instantáneo de la velocidad de corrosión.

Estas pruebas miden la velocidad de corrosión en la superficie metálica por interacción eléctrica con la pequeña corriente resultante de la ionización de los átomos del metal en el proceso de corrosión.

El instrumento opera por la impresión de un pequeño voltaje entre dos electrodos del mismo metal en el ambiente corrosivo, sensando la corriente resultante (fig. 8). La corriente promedio es indicativa de la velocidad de corrosión general.

Estas pruebas son utilizadas para monitorear las tendencias corrosivas dentro de un sistema. Por ejemplo, una respuesta rápida puede utilizarse para optimizar rápidamente entre dos niveles de tratamiento, por decir, 5 y 10 ppm de un inhibidor. Pero lo más importante es que puede servir como un sistema de alarma cuando la velocidad de corrosión es demasiado alta. Las

oscilaciones por bajo pH son fácilmente detectadas, por lo que se puede alertar a los operadores por cambios potencialmente dañinos. Esto es una ventaja adicional si otras alarmas fallan.

El registro de corrosión proporcionado por dispositivos eléctricos ayuda en la localización de fuentes de problemas de corrosión.

Una elevación constante de la velocidad indica el agotamiento del inhibidor de corrosión en el sistema de enfriamiento. Incrementos agudos son indicativos de cambios repentinos y severos en el tratamiento, tales como una sobrealimentación de ácido.

Cuando los electrodos alcanzan el equilibrio con el agua de enfriamiento y los inhibidores, se registran las velocidades de corrosión general y por picadura similares a las indicadas por los cupones.

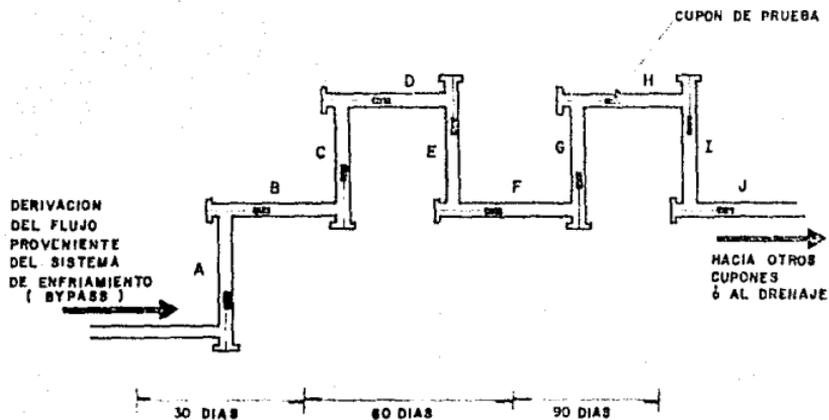


FIG. 7 MONTAJE TÍPICO PARA CUPONES DE CORROSION

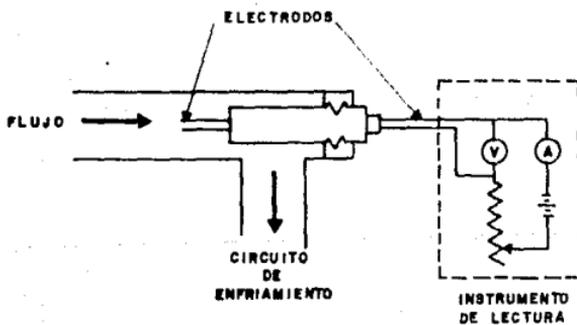


FIG. 8 PRUEBA PARA MONITOREAR LA CORROSION POR MEDICIONES ELECTRICAS

VI. PROCEDIMIENTO PARA CONTROLAR LA CORROSION EN UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO.

El objetivo de este procedimiento es evitar los daños a equipos y tuberías debido a fenómenos de corrosión y obtener los datos y parámetros necesarios para lograr su control.

Como se vió anteriormente, las variables que inciden en la corrosión de un sistema de agua de enfriamiento son la incrustación y el ensuciamiento, requiriendo de métodos de control que incluyen el uso de reactivos químicos, biocidas e inhibidores de corrosión entre otros.

6.1 MEDICION.

En general, para determinar las velocidades de corrosión se usan aparatos y cupones para poder actuar oportunamente y corregir anormalidades.

a) Medición con aparatos.

La medición de las velocidades de desgaste con aparatos, por ser instantánea, indica de inmediato la naturaleza de la agresividad de corrosión presente en el medio. Ksto es importante para efectuar los ajustes necesarios en la inyección de inhibidores y químicos para un mejor control en el tratamiento de agua de la torre.

La localización de la cabeza medidora se tendrá en el sistema de retorno a la llegada a la torre y, en forma general, se deberá cumplir con lo establecido en el método D-2776 del ASTM.

El encargado del Sector de Inspección y Seguridad efectuará lecturas y construirá la gráfica mensual correspondiente, para lo cual deberá conocer perfectamente el manejo del aparato utilizado y referir dichas lecturas a la temperatura del medio en ese momento (formato No. 1).

b) Medición con cupones.

La medición con cupones se deberá hacer de acuerdo con el método D-2688 del ASTM y el tiempo mínimo de exposición será de 30 días. La localización de los cupones se hará en el sistema de agua de retorno a la llegada a la torre.

Igualmente, el encargado del sector de Inspección y Seguridad registrará mes a mes los valores de las velocidades obtenidas por cupones, observando el tipo de ataque corrosivo presente (estándar G-46 del ASTM) y anotando estos datos en el formato No.2.

6.2 CONTROL.

Con los valores de las velocidades de desgaste, se considerará alta corrosión arriba de las 5 mpa, y en caso de que así sea se deberán examinar y analizar las distintas variables de control para solucionar el problema.

CONTROL DE LAS CARACTERISTICAS DEL AGUA.

El personal de laboratorio determinará una vez por turno los valores de pH, alcalinidad y durezas. Además, diariamente efectuará determinaciones de sílice, sólidos en suspensión, cloro residual, fierro y fosfatos o fosfonatos, de acuerdo al formato No. 3, tanto en el agua de recirculación como en el agua de

repuesto. Estos datos serán analizados por la sección de Inspección y Seguridad para verificar que se encuentren dentro de los rangos permisibles. Se graficarán los valores promedios diarios del pH en el formato No. 4.

CONTROL DE INYECCION DE INHIBIDOR DE CORROSION.

De acuerdo al registro de datos sobre las cantidades y dosificación de los reactivos del inhibidor de corrosión, que el personal asignado anotará diariamente por turno en sus hojas de operación, el encargado de Inspección y Seguridad construirá la curva de dosificación de inhibidor correspondiente (formato No. 5).

CONTROL DE TEMPERATURA.

Siendo la temperatura un factor importante que influye en las velocidades de corrosión, el personal asignado medirá y registrará diariamente por turno este valor en el agua de retorno a la torre. El encargado de Inspección y Seguridad construirá una gráfica mensual con los valores diarios promedio (formato No. 1).

CONTROL DE REACTIVOS.

Se deberá llevar un control de la cantidad mensual de reactivos utilizados en cada una de las torres, con el objeto de ayudar a fijar criterios respecto a los consumos (formato No. 1).

CONTROL DEL INDICE DE ESTABILIDAD Y DEL DE SATURACION.

El personal de laboratorio reportará diariamente los resultados de las determinaciones necesarias para que el personal asignado calcule los índices de estabilidad y de saturación para graficarlos y observar si la tendencia del agua es corrosiva o incrustante (formato No. 4).

CONTROL DE LOS CICLOS DE CONCENTRACION.

La evaporación del agua en la torre de enfriamiento provoca la concentración del contenido de sales en el agua de recirculación. Su expresión numérica es el resultado de dividir la concentración (ppm) de las sales solubles presentes en el agua de recirculación entre las sales solubles presentes en el agua de repuesto.

Con los datos obtenidos en el laboratorio se calcularán los ciclos de concentración diariamente para garantizar las cantidades adecuadas de agua de repuesto (formato No. 5).

6.3 REPORTE E INFORMES.

El encargado de Inspección y Seguridad elaborará un informe mensual de control de corrosión conteniendo lo siguiente:

- Comentarios breves y concisos, como un resumen de los resultados obtenidos, incluyendo las anomalías.
- Los resultados de los análisis efectuados por el laboratorio relativos al agua de repuesto y al agua de recirculación del sistema (formato No. 3).
- Las velocidades de desgaste y los tipos de corrosión observados en cupones, así como el grado de ensuciamiento (formato No. 2).

- Gráficas de los valores de índice de estabilidad, índice de saturación y pH del agua de recirculación (formato No.4).
- Gráficas de los valores de ciclos de concentración y de las concentraciones calculadas de inhibidores agregados.
- Gráfica de las temperaturas del agua, velocidades de desgaste y consumo de reactivos (formato No. 1).

En todas las gráficas se marcarán los valores de los rangos ideales o mínimos y máximos, para comparar rápidamente las desviaciones o tendencias reales con las ideales establecidas.

6.4 EJEMPLO PRACTICO.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para una torre de enfriamiento de acuerdo al procedimiento anterior.

El registro para los testigos de corrosión muestra que el sistema tiene un adecuado control de corrosión y, como se puede observar, las pérdidas de peso resultan mayores en los periodos más cortos de exposición debido a que los cupones registran la corrosión acumulada en el sistema; asimismo, se observa que el ensuciamiento de los cupones es moderado y el tipo de corrosión es la "más deseable" ya que es uniforme.

La temperatura de recirculación se encuentra entre los límites adecuados para este tipo de enfriamiento.

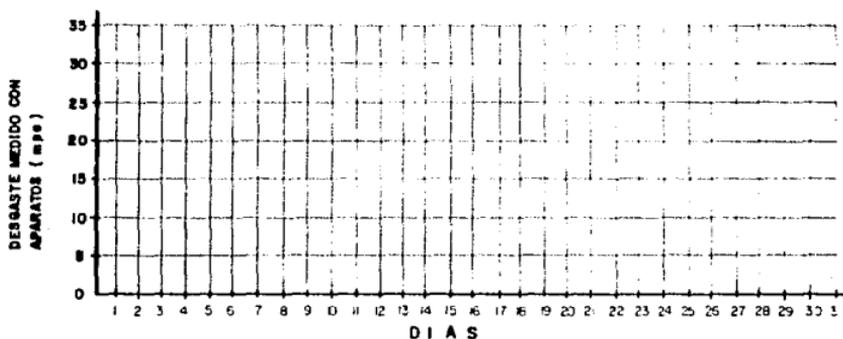
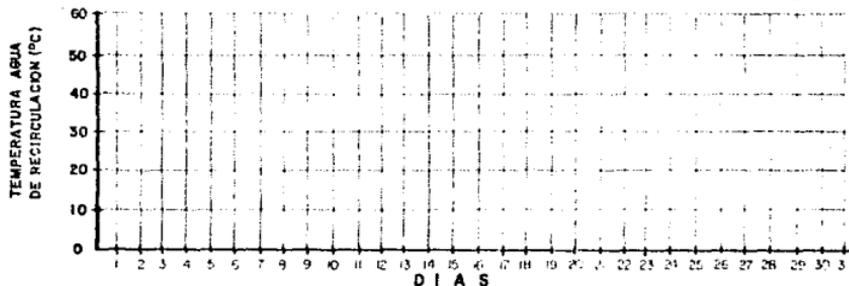
El índice de saturación presenta valores negativos, indicando la tendencia corrosiva del agua. Por otra parte, el índice de estabilidad está por encima de los valores permitidos y conforme este valor aumente, la tendencia corrosiva del agua también aumentará.

Por lo que respecta al pH, su valor está dentro de los límites permisibles.

En la gráfica de los ciclos de concentración se observa que su valor va disminuyendo conforme pasa el tiempo, hasta salirse de los límites de control. Esto se debe a que el agua de recirculación va concentrando el contenido de sales, las cuales podrían causar incrustación. Esto explica la tendencia corrosiva del agua, ya que se requiere de mayor cantidad de ácido para controlar la incrustación.

**CONTROL DE CORROSION E INCRUSTACION
SISTEMAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO
GRAFICAS DE CONTROL**

CENTRO _____ SECTOR _____
SISTEMA _____ MES _____



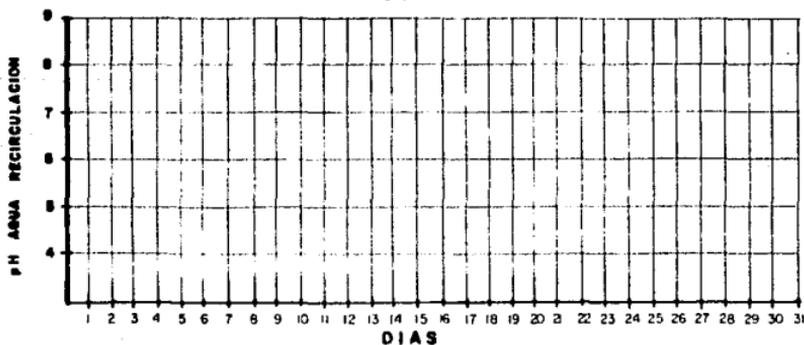
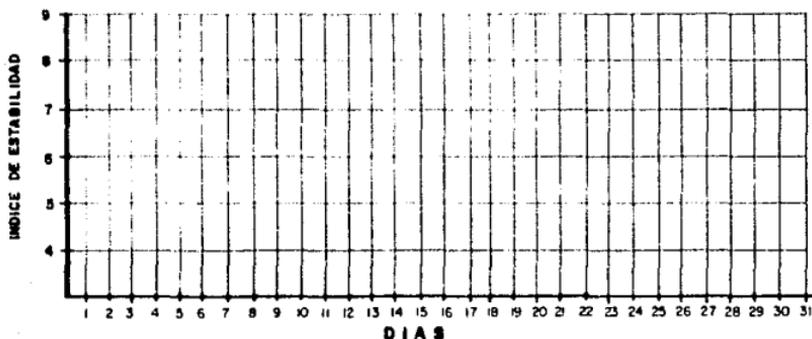
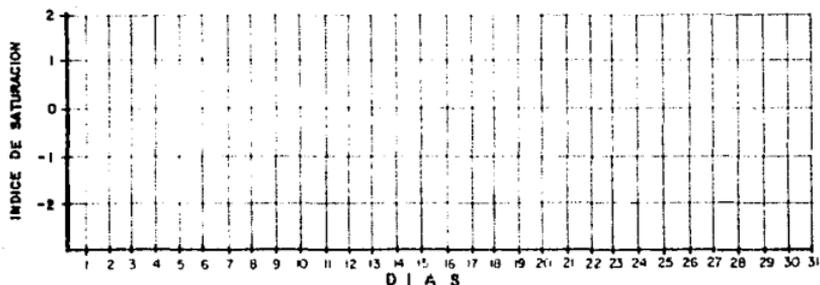
CONSUMO DE REACTIVOS	
REACTIVO	CONSUMO

OBSERVACIONES : _____

CONTROL DE CORROSION E INCRUSTACION
 SISTEMAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO
 GRAFICAS DE CONTROL

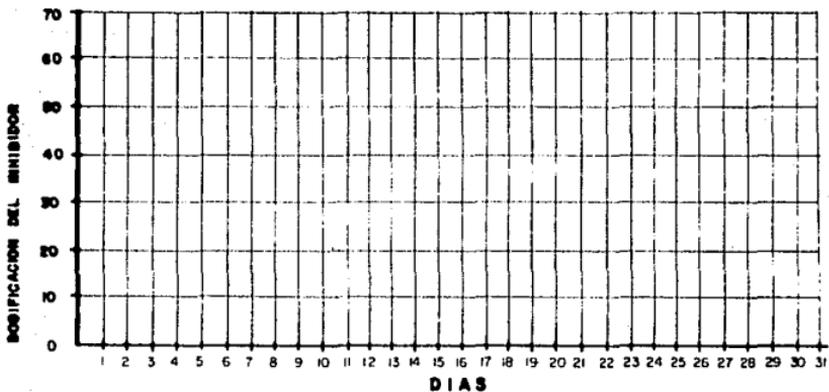
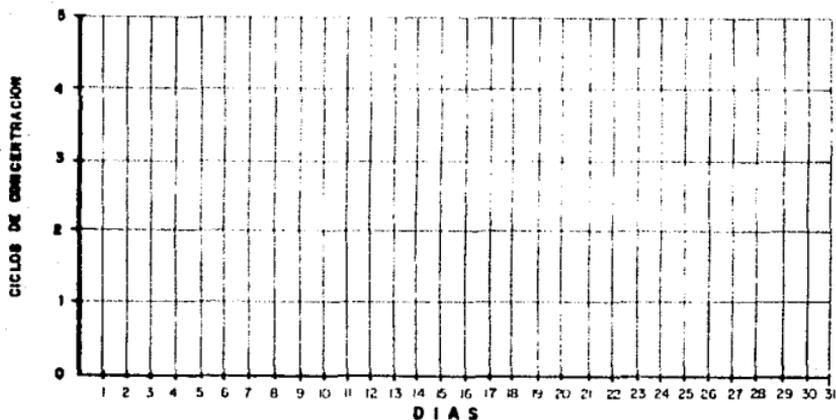
CENTRO _____ SECTOR _____

SISTEMA _____ MES _____



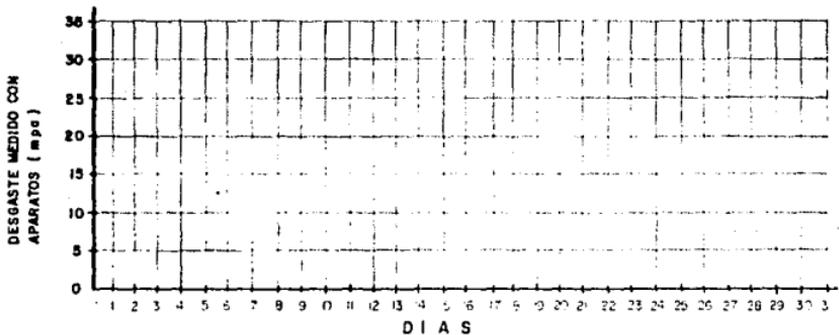
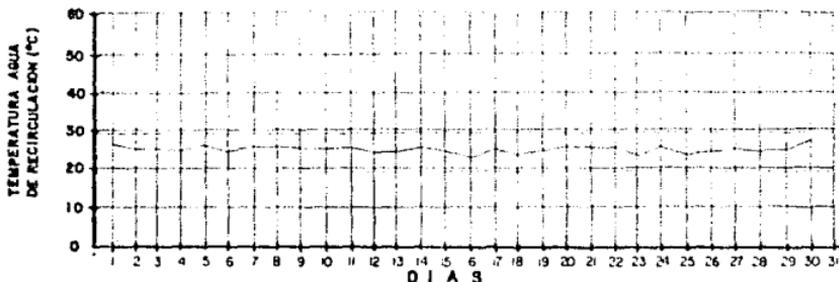
CONTROL DE CORROSION Y ENSUCIAMIENTO
 SISTEMAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO
 GRAFICAS DE CONTROL

CENTRO _____ SECTOR _____
 SISTEMA _____ MES _____



CONTROL DE CORROSION E INCRUSTACION
SISTEMAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO
GRAFICAS DE CONTROL

CENTRO COMPLEJO PETROQUIMICO SECTOR SERV. AUXILIAR
SISTEMA TORRE DE ENFRIAMIENTO MES JUNIO/50



CONSUMO DE REACTIVOS	
REACTIVO	CONSUMO
ACIDO SULFURICO	2511 kg
CLORO	2216 kg
FOSFONATO DE ZINC	695 lts.
POLIACRIALTO	175 lts.

OBSERVACIONES : _____

CONTROL DE CORROSION Y ENSUCIAMIENTO
SISTEMAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO
REGISTRO DE TESTIGOS DE CORROSION

CENTRO COMPLEJO PETROQUIMICO SECTOR SERVICIOS AUXILIARES MES JUNIO/90
SISTEMA TORRE DE ENFRIAMIENTO

NO DEL TESTIGO	DIAS DE EXPOSICION	PERDIDA DE PESO	MPA	TIPO DE CORROSION	ENSUCIAMIENTO ó INCRUSTACION OBSERVADO
1	30.	.0466	1.7490	GENERAL LOCALIZADA	ENSUCIAMIENTO MODERADO
2	60	.0135	.4445	GENERAL LOCALIZADA	SALIO LIMPIO
3	30	.0574	2.1544	GENERAL LOCALIZADA	ENSUCIAMIENTO MODERADO

CONTROL DE CORROSION E INCRUSTACION
SISTEMAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO
DATOS OBTENIDOS POR EL LABORATORIO

FORMATO No. 3

CENTRO COMPLEJO PETROQUIMICO SECTOR SERVICIOS AUXILIARES MES JUNIO/90.
SISTEMA TORRE DE ENFRIAMIENTO

LIMITES DE CONTROL	MINIMO							10	0.5	7	2.5	20
	MAXIMO	150	300	120	175	1,000	50	20	1.0	8	3.0	30
P / A	ALCALI- NIDAD (ppm) M	DUREZA TOTAL (ppm)	DUREZA CALCIO (ppm)	BILICE (ppm)	SOLIDOS TOTALES SUSPENSION (ppm)	CLORUROS (ppm)	FOSFATOS O FOSFATOS (ppm)	CLORO RESIDUAL	PH	CICLOS DE CONC.	TEMPERATURA °C	
01-JUNIO-90	71	260	71	184	720	85	13.0	1.8	7.7	2.7	26	
02-JUNIO-90	63	264	73	184	674	85	12.1	2.8	7.7	2.7	25	
03-JUNIO-90	61	253	68	199	748	82	10.23	2.3	7.8	2.8	25	
04-JUNIO-90	70	236	66	172	705	75	10.25	2.0	7.9	2.61	25	
05-JUNIO-90	62	248	67	184	653	78	14.1	1.7	7.9	2.7	25	
06-JUNIO-90	59	243	68	173	627	72	11.6	1.3	7.7	2.5	24	
07-JUNIO-90	62	244	71	174	760	71	12.2	1.8	7.9	2.5	25	
08-JUNIO-90	64	244	64	173	781	69	13.3	1.0	7.9	2.5	25	
09-JUNIO-90	69	242	69	175	755	64	11.4	1.54	7.85	2.10	25	
10-JUNIO-90	65	246	63	171	735	63	10.8	1.84	7.83	2.14	25	
11-JUNIO-90	66	216	63	156	633	61	12.6	1.23	7.83	2.27	25	
12-JUNIO-90	58	216	62	162	634	65	10.90	2.37	7.82	2.04	25	

76
CONTROL DE CORROSION E INCRUSTACION
SISTEMAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO
DATOS OBTENIDOS POR EL LABORATORIO

FORMATO No. 3

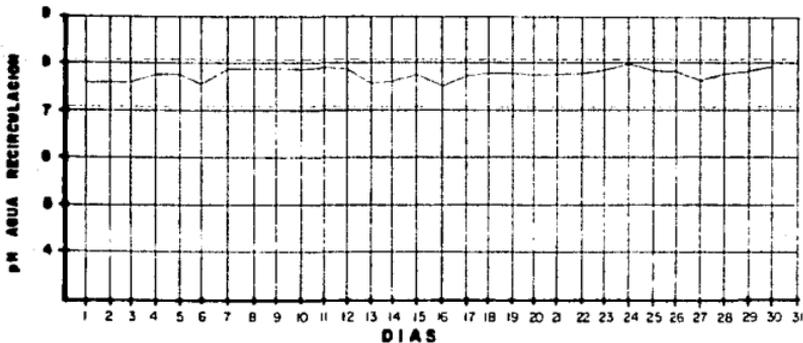
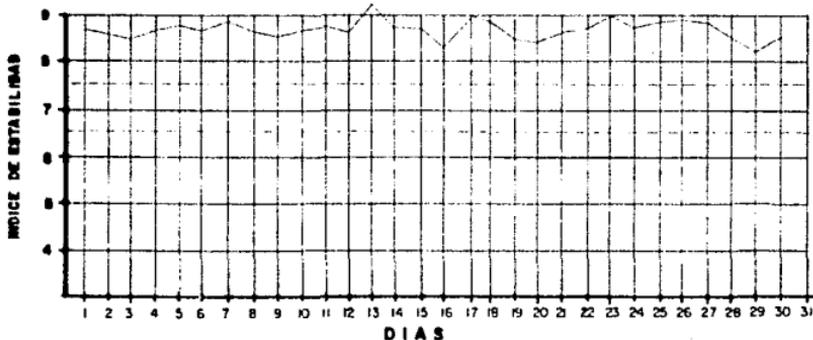
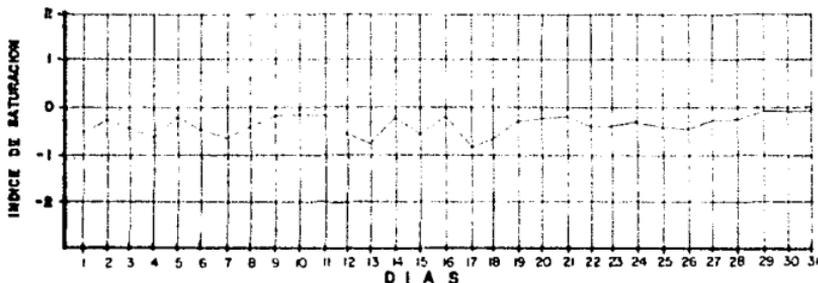
CENTRO COMPLEJO PETROQUIMICO SECTOR SERVICIOS AUXILIARES MES JUNIO/90.
 SISTEMA TORRE DE ENFRIAMIENTO

LIMITE DE CONTROL	MINIMO							10	0.5	7	2.5	20
	MAXIMO	150	300	120	175	1,000	50	20	1.0	8	3.0	30
DIA	ALCALI- NIDAD (ppm) M	DUREZA TOTAL (ppm)	DUREZA CALCIO (ppm)	SILICE (ppm)	SOLIDOS TOTALES SUSPENSION (ppm)	CLORUROS (ppm)	FOSFONATOS o FOSFATOS (ppm)	CLORO RESIDUAL	PH	CICLOS DE CONC.	TEMPERATURA °C	
13-JUNIO-90	58	208	61	167	536	61	10.7	2.08	7.7	2.11	25	
14-JUNIO-90	56	219	73	167	567	65	11.06	1.6	7.75	2.08	25	
15-JUNIO-90	62	219	61	161	700	64	11.7	2.0	7.8	2.0	25	
16-JUNIO-90	51	220	62	165	720	68	11.2	1.6	7.6	2.0	22	
17-JUNIO-90	57	218	60	161	610	65	10.7	4	7.8	1.9	23	
18-JUNIO-90	72	204	57	168	544	53	11.1	1.3	7.9	2.1	23	
19-JUNIO-90	75	196	51	150	534	48	11.0	1.2	7.9	1.87	23	
20-JUNIO-90	80	202	54	148	528	52	12.2	2.2	7.9	1.81	25	
21-JUNIO-90	68	197	57	166	516	55	13.3	1.0	7.9	1.78	25	
22-JUNIO-90	63	194	56	153	521	55	11.32	1.48	7.93	1.86	25	
23-JUNIO-90	49	200	60	145	650	61	11.5	2.0	7.7	1.7	23	
24-JUNIO-90	58	206	56	150	643	55	9.3	1.2	8.0	1.8	25	

**CONTROL DE CORROSION E INCRUSTACION
SISTEMAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO
GRAFICAS DE CONTROL**

CENTRO COMPLEJO PETROQUIMICO **SECTOR** SERV. AUXILIARES

SISTEMA TORRE DE ENFRIAMIENTO **MES** JUNIO/99

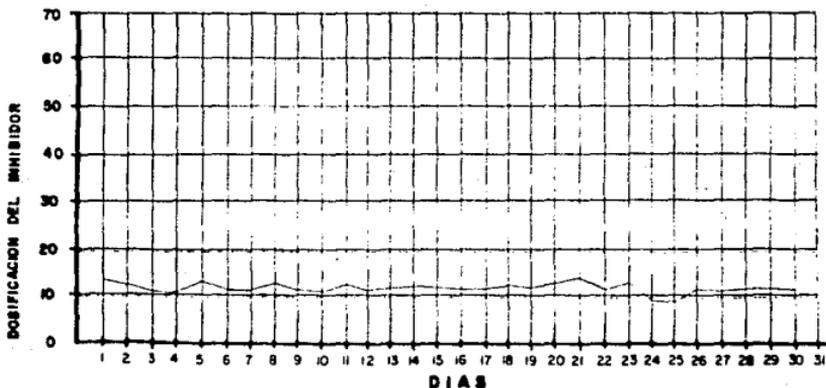
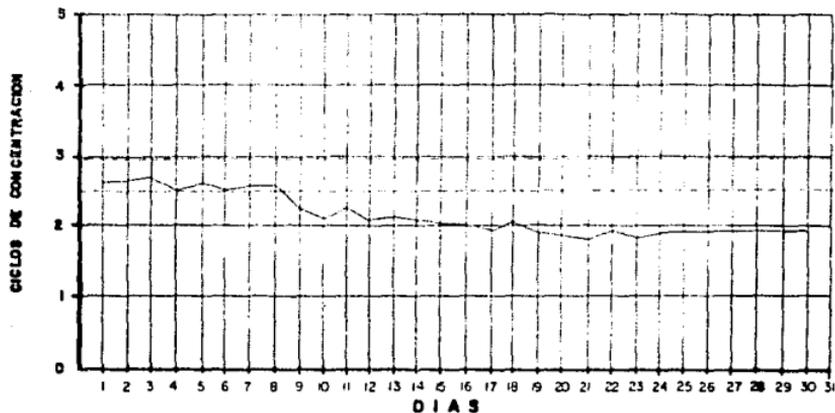


ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

POREDAVZ No. 5

CONTROL DE CORROSION Y ENSUCIAMIENTO SISTEMAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO GRAFICAS DE CONTROL

CENTRO COMPLEJO PETROQUIMICO SECTOR SERV. AUXILIARES
SISTEMA TORRE DE ENFRIAMIENTO MES JUNIO/90



VII. INSPECCION DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.

Las inspecciones periódicas de las torres de enfriamiento tienen la finalidad de conocer el estado mecánico y físico de las instalaciones para evaluar las condiciones de seguridad y prevenir accidentes que puedan convertirse en siniestros.

Los elementos básicos para formular un programa de inspección son los siguientes:

- a) Datos de diseño de equipo.
- b) Datos de operación real.
- c) Tiempo de inspección.

a) Datos de diseño de equipo.

La presión, la temperatura, el material que se maneja, la velocidad de flujo, el material de que está hecho el equipo, su espesor, su margen de corrosión, las pruebas a las que se sometió el equipo antes de entrar en operación (rayos X, pruebas hidráulicas, pruebas de deformación, pruebas de martillo, etc.), son importante auxiliar para la formulación de un buen programa de inspección.

b) Datos de operación real.

Tan importantes como los datos de diseño son los datos que el personal que opera el equipo pueda proporcionar, basados en la historia de trabajo de la unidad, ya que ahí se registran los cambios en las condiciones de operación, así como las reparaciones parciales que se han ejecutado en el equipo y las causas que lo motivaron.

c) Tiempo de inspección.

Es el tiempo que se puede disponer del equipo para su inspección. Cuando no se trata de un equipo auxiliar o independiente, sino de el equipo de un sistema lo que se va a inspeccionar, el programa debe prepararse con el tiempo disponible en tantas secciones o subsecciones como sean necesarias, con el fin de cumplir con el programa dentro del tiempo disponible, dando preferencia a las partes críticas del equipo.

La inspección de los equipos no tendría ningún valor si no se controlaran y registraran los datos que estos reportan. El registro debe ejecutarse en forma inmediata a la inspección.

Estos registros permiten establecer estadísticas y efectuar estudios que posteriormente son utilizados para nuevas programaciones, ayudando a lograr un mejor mantenimiento preventivo de las unidades y un aumento en la seguridad; asimismo, permite establecer los lapsos seguros de operación, indicando la fecha en que debe ser retirado de servicio el equipo para su nueva inspección.

Los registros deben tener dos características especiales:

1. Ser de fácil consulta.
2. Servir de memoria al inspector marcando las fechas límite en que deben nuevamente programarse las inspecciones.

A continuación se presenta una guía para la inspección de Torres de Enfriamiento. Esta guía podrá modificarse de acuerdo a las características particulares del sistema o para mejorar su contenido básico.

"GUIA PARA LA INSPECCION DE TORRES DE ENFRIAMIENTO"

CENTRO DE TRABAJO _____

TORRE No. _____ FECHA: _____

INSTALACIONES

	CONDICION	
	CORRECTA	ANORMAL
1. INSPECCION EXTERIOR.-		
1.1.- PAREDES LIMPIAS	_____	_____
1.2.- PAREDES DE MADERA SIN DETERIORO	_____	_____
1.3.- PAREDES DE ASBESTO SIN DETERIORO	_____	_____
1.4.- PAREDES DE CONCRETO SIN DETERIORO	_____	_____
1.5.- PAREDES SIN INCRUSTACION	_____	_____
1.6.- SIN CRECIMIENTO BIOLOGICO O HIERBA	_____	_____
1.7.- PERSIANAS COMPLETAS SIN DETERIORO	_____	_____
1.8.- PERSIANAS LIMPIA	_____	_____
1.9.- ESCALERAS Y BARANDALES EN BUENAS CONDICIONES	_____	_____
1.10.- PISO SUPERIOR SIN DETERIORO	_____	_____
1.11.- PUERTAS DE INSPECCION OPERANDO Y COMPLETAS	_____	_____
1.12.- BARANDALES DE PISO SUPERIOR COMPLETOS Y ANCLADOS	_____	_____
1.13.- CHIMENEAS COMPLETAS Y SIN DETERIORO	_____	_____
1.14.- ANCLAJES DE CHIMENEA COMPLETOS	_____	_____
1.15.- CHIMENEAS SIN VIBRACION	_____	_____
1.16.- ABIERTAS TODAS LAS VALVULAS DE BLOQUEO DE RETORNOS	_____	_____
1.17.- SIN FUGAS EN VALVULAS Y CONEXIONES DE		

RETORNOS

- 1.18.- TESTIGOS DE CORROSION CON INSTALACION
CORRECTA
- 1.19.- TERMOMETROS Y MANOMETROS CALIBRADOS Y
COMPLETOS
- 1.20.- OPERA BIEN EL SISTEMA AUTOMATICO DE AGUA DE
REPUKSTO
- 1.21.- OPERA BIEN EL REGISTRADOR DE FLUJO DE AGUA
DE REPUESTO

- 2. FOSA DE AGUA
- 2.1.- AGUA CLARA, SIN HIDROCARBUROS Y SIN BASURA
- 2.2.- REJILLAS EN SUCCION EN BOMBAS COMPLETAS Y EN
BUEN ESTADO
- 2.3.- REJILLAS SIN BASURA EN SUCCION DE BOMBAS
- 2.4.- CONTROL AUTOMATICO DE NIVEL OPERA BIEN
- 2.5.- NIVEL DE OPERACION SIN DERRAMAR
- 2.6.- CERRADA LA VALVULA DE PURGA DE FONDO
- 2.7.- REGISTRO DE PURGAS DE FONDO LIMPIO SIN
INUNDARSE

- 3. INTERNOS
- 3.1.- ESTAN LIMPIOS LOS DUCTOS DE DISTRIBUCION DE
AGUA
- 3.2.- NO EXISTEN FUGAS EN DUCTOS DE DISTRIBUCION
- 3.3.- NO ESTAN TAPADOS LOS ASPERSORES

- 3.4.- NO FALTAN ASPERSORES _____
- 3.5.- ELIMINADORES DE ROCIO COMPLETOS EN SITIO _____
- 3.6.- ELIMINADORES DE ROCIO LIMPIOS _____
- 3.7.- NO HAY REJILLAS ROTAS O CAIDAS DE SITIO _____
- 3.8.- LOS TIRANTES SOPORTES Y TRABES ESTAN
CORRECTOS _____
- 3.9.- ANCLAJE DE ESTRUCTURA COMPLETA Y CORRECTA _____
- 3.10.- SOPORTES Y ESTRUCTURA DE REDUCTORES
CORRECTOS _____
- 3.11. SIN CRECIMIENTO BIOLOGICO _____
- 3.12.- SIN INCRUSTACION EN HERRAJES Y ESTRUCTURA _____
- 3.13.- SOPORTES DE CABEZALES DISTRIBUIDOS
CORRECTOS _____
- 3.14.- CHAROLAS DE DISTRIBUCION DE AGUA COMPLETAS _____
- 3.15.- PASILLOS Y ESCALERAS COMPLETOS Y SEGUROS _____

- 4. EQUIPO ROTATORIO
- 4.1.- BASTIDORES DE ANCLAJE COMPLETOS SIN
CORROSION _____
- 4.2.- ANCLAJES COMPLETOS Y FIRMES _____
- 4.3.- CUBRECOPILES COMPLETOS Y SEGUROS _____
- 4.4.- INDICADORES DE NIVEL DE ACEITE COMPLETOS Y
Y OPERANDO _____
- 4.5.- COPLES COMPLETOS Y FIRMES _____
- 4.6.- APOYOS CON RODAMIENTOS, FIRMES Y LUBRICADOS _____
- 4.7.- SIN RUIDO ANORMAL EN REDUCTORES DE VELOCIDAD _____

- 4.8.- SIN VIBRACION, FLRCHAS Y REDUCTORES _____
- 4.9.- MOTORES CON CONEXIONES COMPLETAS Y ROSCADAS _____
- 4.10.- CONEXION DE TIERRA Y RED DE TIERRAS
COMPLETOS _____
- 4.11.- CUBIERTAS DEL MOTOR, COMPLETAS Y EN SITIO _____
- 4.12.- ASPAS DE ABANICOS CON ANGULO CORRECTO Y
UNIFORME _____
- 4.13.- CLARO UNIFORME ENTRE ASPAS Y TOLVAS DE
CHIMENEAS _____
- 4.14.- TOLVAS CUBRE MAZA DE ASPAS EN SU SITIO Y
FIRME _____
- 4.15.- INSTALACION DE PROTECCION CONTRA
VIBRACIONES CORRECTA _____
- 4.16.- TODOS LOS EQUIPOS OPERAN A VELOCIDAD
NOMINAL _____
- 4.17.- MOTORES PINTADOS Y ROTULADOS _____
- 4.18.- MOTORES CON CALENTAMIENTO EXCESIVO _____
- 4.19.- MOTORES CON VIBRACION EXCESIVA _____
- 4.20.- MOTORES CON RUIDO ANORMAL _____
- 4.21.- MOTORES CON LUBRICACION COMPLETA Y CORRECTA _____
- 4.22.- MOTOR OPERA EN SUS VELOCIDADES NOMINALES _____
- 4.23.- DUCTOS ELECTRICOS, SOPORTADOS Y ANCLADOS _____
- 4.24.- CONEXION DE TIERRA COMPLETA Y AMARRADA A
MOTORES _____

- 5. EQUIPO DE BOMBEO Y MOTRIZ: MOTOR O TURBINA

- | | | |
|---|-------|-------|
| 5.1.- INDICADORES DE NIVEL DE LUBRICACION
COMPLETOS | _____ | _____ |
| 5.2.- NO EXISTEN FUGAS DE ACEITE | _____ | _____ |
| 5.3.- SIN FUGAS POR ESTOPIEROS O SELLOS MECANICOS | _____ | _____ |
| 5.4.- CISTERNA DE ENFRIAMIENTO OPERANDO BIEN | _____ | _____ |
| 5.5.- SIN VIBRACION EXCESIVA | _____ | _____ |
| 5.6.- SIN RUIDO ANORMAL | _____ | _____ |
| 5.7.- PRESION DE DESCARGA CORRECTA | _____ | _____ |
| 5.8.- CUBRECOPLES COMPLETOS Y SEGUROS | _____ | _____ |
| 5.9.- REDUCTORES SIN RUIDO ANORMAL | _____ | _____ |
| 5.10.- REDUCTORES SIN CALENTAMIENTO | _____ | _____ |
| 5.11.- REDUCTORES SIN VIBRACION EXCESIVA | _____ | _____ |
| 5.12.- REDUCTORES CON LUBRICACION CORRECTA | _____ | _____ |
| 5.13.- SIN FUGAS DE VAPOR POR SELLOS | _____ | _____ |
| 5.14.- DISPOSITIVO DE DISPARO EN BUENAS
CONDICIONES | _____ | _____ |
| 5.15.- VALVULAS DE CORTE DE VAPOR EN TURBINAS
OPERAN | _____ | _____ |
| 5.16.- TURBINAS SIN FUGAS DE ACEITE LUBRICANTE | _____ | _____ |
| 5.17.- TURBINAS SIN VALVULAS DE SEGURIDAD
OPERABLES | _____ | _____ |
| 5.18.- TURBINAS CON GOBERNADOR DE VELOCIDAD
OPERABLE | _____ | _____ |
| 5.19.- TURBINAS SIN RUIDO ANORMAL | _____ | _____ |
| 5.20.- TURBINAS SIN VIBRACION EXCESIVA | _____ | _____ |
| 5.21.- MOTORES CON CONEXION CORRECTA A TIERRA | _____ | _____ |

- 5.22.- MOTORES CON DUCTOS COMPLETOS _____
- 5.23.- MOTORES SIN VIBRACION EXCESIVA _____
- 5.24.- MOTORES CON CARGA NORMAL _____
- 5.25.- MOTORES SIN CALENTAMIENTO EXCESIVO _____
- 5.26.- ARRANCADORES DE MOTORES OPERAN BIEN _____

- 6. INSTALACION DE ALUMBRADO
- 6.1.- UNIDADES DE ALUMBRADO COMPLETAS _____
- 6.2.- SOPORTES DE DUCTOS ELÉCTRICOS COMPLETOS _____
- 6.3.- CAJAS Y REGISTROS CON TAPAS COMPLETAS _____
- 6.4.- TUERCAS UNIONES COMPLETAS, FIRMES _____
- 6.5.- DUCTOS COMPLETOS _____
- 6.6.- OPERA EL ALUMBRADO CON FOTOCÉLULA _____
- 6.7.- APAGADORES Y CONTACTOS CON TAPAS COMPLETAS _____
- 6.8.- TABLERO DE DISTRIBUCION CON IDENTIFICACION _____
- 6.9.- NO EXISTEN LAMPARAS FUNDIDAS _____
- 6.10.- DUCTOS E INSTALACION ATRERRIZADOS _____

- 7. INSTALACION DE SUBESTACION O CENTRO DE CONTROL,
DE MOTORES
- 7.1.- DESCONECTADOR EN ACRITE NIVEL CORRECTO _____
- 7.2.- DESCONECTADOR SIN ESCURRIMIENTOS DE ACRITE _____
- 7.3.- COMPLETOS EMPAQUES Y TORNILLERIA _____
- 7.4.- IDENTIFICACIONES Y ROTULOS COMPLETOS Y
CLAROS _____
- 7.5.- CONEXION A TIERRA EN BUEN ESTADO _____

- 7.6.- TRANSFORMADOR CON NIVEL CORRECTO DE LIQUIDO _____
- 7.7.- BOQUILLAS DE TRANSFORMADOR HERMETICAS _____
- 7.8.- INDICADORES DE NIVEL Y TEMPERATURA CORRECTOS _____
- 7.9.- TRANSFORMADOR CON EMPAQUE Y TORNILLERIA
COMPLETOS _____
- 7.10.- TRANSFORMADOR SIN ESCURRIMIENTOS DE ACEITE _____
- 7.11.- TRANSFORMADOR CON NOMENCLATURA CORRECTA _____
- 7.12.- AREA DE TRANSFORMADOR LIBRE Y LIMPIA _____
- 7.13.- LA INSTALACION DE ARRANCADORES EN LUGAR
PRESURIZADO _____
- 7.14.- OPERA CORRECTAMENTE EL SISTEMA PRESURIZADOR _____
- 7.15.- LAS PUERTAS DEL LOCAL ABREN Y CIERRAN
LIBREMENTE _____
- 7.16.- LAS PUERTAS SE MANTIENEN CERRADAS _____
- 7.17.- LAS PUERTAS TIENEN LOS VIDRIOS COMPLETOS _____
- 7.18.- EXISTEN LETREROS E INDICACIONES DE
SEGURIDAD _____
- 7.19.- ESTAN DEBIDAMENTE ROTULADOS LOS EQUIPOS _____
- 7.20.- CIERRAN BIEN LAS PUERTAS DE LOS GABINETES _____
- 7.21.- ESTAN COMPLETAS Y EN BUEN ESTADO LAS
MANIJAS DE CIERRE _____
- 7.22.- LAS LAMPARAS INDICADORAS COMPLETAS OPERAN _____
- 7.23.- FUNCIONAN LOS INSTRUMENTOS DE MEDICION _____
- 7.24.- FUNCIONA EL INDICADOR DE FALLA A TIERRA _____
- 7.25.- EQUIPOS EN ACEITE A NIVEL SIN ESCURRIMIENTO _____
- 7.26.- EQUIPOS SIN CALENTAMIENTO O RUIDO ANORMAL _____

- | | | |
|--|-------|-------|
| 7.27.- LOS DUCTOS ELCTRICOS COMPLETOS Y EN BUEN ESTADO | _____ | _____ |
| 7.28.- GABINETES O CAJAS DE ARRANCADORRS LIMPIOS | _____ | _____ |
|
 | | |
| 8. REACTIVOS PARA TRATAMIENTO QUIMICO | | |
| 8.1.- EXISTE COBERTIZO PARA ALMACENAR LOS REACTIVOS | _____ | _____ |
| 8.2.- COBERTIZO LIMPIO | _____ | _____ |
| 8.3.- EXISTE TANQUE DE ACIDO SULFURICO | _____ | _____ |
| 8.4.- NIVEL EN TANQUE DE ACIDO CORRECTO | _____ | _____ |
| 8.5.- INDICADOR DE NIVEL DE ACIDO LIMPIO Y OPERA | _____ | _____ |
| 8.6.- CILINDROS DE CLORO DEBIDAMENTE INSTALADOS | _____ | _____ |
| 8.7.- CLORADOR AUTOMATICO FUNCIONANDO | _____ | _____ |
| 8.8.- EYECTOR DE CLORO FUNCIONANDO | _____ | _____ |
| 8.9.- NO EXISTEN FUGAS DE CLORO | _____ | _____ |
| 8.10.- HUMECTANTE Y ACONDICIONADOR EMPLEANDOSE | _____ | _____ |
| 8.11.- DOSIFICADORES DE REACTIVOS FUNCIONAN EN AUTOMATICO | _____ | _____ |
| 8.12.- EL VOLUMEN DE REACTIVOS DOSIFICADOS EN EL INDICADOR | _____ | _____ |
| 8.13.- EL CONTROL DE pH ES ADECUADO | _____ | _____ |
| 8.14.- NO EXISTEN CONTAMINACIONES DE HIDROCARBUROS | _____ | _____ |
| 8.15.- ESTAN ALMACENADOS LOS REACTIVOS | _____ | _____ |
|
 | | |
| 9. INSTALACIONES DE SEGURIDAD Y CONTRAINCENDIO | | |
| 9.1.- EXISTEN INSTALACIONES Y EQUIPOS DE CONTRA | | |

- INCENDIO _____
- 9.2.- FUNCIONAN BIEN LAS INSTALACIONES Y EQUIPOS
CONTRA INCENDIO _____
- 9.3.- OPERA VALVULA DE SECCIONAMIENTO A RED DE
ASPERGORES _____
- 9.4.- OPERA BIEN LA RED DE ASPERSORES _____
- 9.5.- ESTA INDICADA LA LOCALIZACION DE EQUIPOS
CONTRA INCENDIO _____
- 9.6.- EXISTEN INSTALADOS LETREROS DE SEGURIDAD _____
- 9.7.- EXISTE LIMPIEZA Y ORDEN EN CASETA DE
OPERADORES _____
- 9.8.- OPERAN SEGUROS LOS CALENTADORES DE ALIMENTOS _____
- 9.9.- CALENTADOR DE AGUA CON VALVULA DE SEGURIDAD _____
- 9.10.- LA ILUMINACION DEL AREA ES ADECUADA _____

VIII. CONCLUSIONES.

La protección contra la corrosión en los sistemas de enfriamiento es un problema de enorme importancia económica, puesto que el deterioro y la perforación de los tubos de los cambiadores de calor ocasiona pérdidas de producto y una operación ineficiente de la transferencia de calor. Este deterioro requiere mantenimiento, reemplazo de equipo, etc., conduciendo al incremento de los costos de producción.

Si bien, el diseño apropiado de un sistema de agua de enfriamiento, junto con la selección adecuada de materiales, puede minimizar el impacto de la corrosión, se requiere también conocer las principales características de las torres de enfriamiento, así como los tratamientos químicos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema, sin perder de vista que la solución es específica para cada sistema y que los tratamientos aquí propuestos sólo nos proporcionan los lineamientos generales.

Dada la importancia que representan las pérdidas económicas ocasionadas por la corrosión, este trabajo contribuye, de manera general, en la resolución de esta problemática, a la cual se enfrentan personas involucradas en el diseño y operación de plantas de proceso, ya que la corrosión puede ser reducida detectando fallas potenciales antes de que ocurran y vigilando su avance a través de programas adecuados de control y monitoreo.

IX. BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Sheldon D. Strauss and Paul R. Puckourius
Cooling water treatment for control of scaling, fouling,
corrosion.
Power, Junio 1984.
- 2.- William B. Thomas.
Keys to successful cooling tower operation.
Hydrocarbon Processing, Mayo 1980.
- 3.- Gary G. Reeves.
Cooling water chemistry for plant design.
Hydrocarbon Processing, Septiembre 1983.
- 4.- Dennis R. Robitaille.
Molybdate inhibitors for problem cooling waters.
Chemical Engineering, 4 de Octubre 1982.
- 5.- The Nalco Handbook, McGraw-Hill book Co., New York, NY, 1979.
- 6.- National Assn. of Corrosion Engineers.
Basic Corrosion Course.
Octubre 1978.
- 7.- National Assn. of Corrosion Engineers.
Cooling water treatment manual.
TPC publication No. 1, 1974.
- 8.- Devore Picozzi and Vago.
Specifying and Supplying Heat Exchanger Chemical Engineering,
Octubre 1980.
- 9.- Betz Laboratories.
Specimen Cleaning Procedure.

10.- James N. Tonis

Procedures of Industrial Water Treatment.

Ellen Inc, 1987.

11.- ASTM, Método D-2776/86, Corrosividad de agua, métodos eléctricos.

12.- ASTM Método D-2688/86 Corrosividad del agua por método de pérdidas de peso.

13.- ASTM Método G-46/86 Evaluación de corrosión.

14.- Standars of Tubular Exchanger Manufacturers Association, 6th ed. (1978).