



10521  
17

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ESTUDIOS  
QUÍMICOS CUAUTITLAN

**CALIDAD EN LAS ORGANIZACIONES (EMPRESAS, E  
INSTITUCIONES DE PRODUCCION DE SERVICIOS),  
EVALUACION DE LOS PRODUCTOS QUIMICOS  
UTILIZADOS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA  
EN UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO.**

**TRABAJO DE SEMINARIO**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

**INGENIERA QUIMICA**

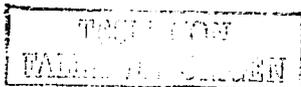
P R E S E N T A :

**MIREYA SANTIAGO ESPINOSA**

**ASESOR: DRA. FRIDA MARIA LEON RODRIGUEZ**

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

2003.



A



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Calidad en las Organizaciones (Empresas e Instituciones de Producción de Servicios)

Evaluación de los Productos Químicos Utilizados para Mejorar la Calidad del Agua  
en una Torre de Enfriamiento.

que presenta la pasante: Mireya Santiago Espinosa

con número de cuenta: 9459990-7 para obtener el título de :

Ingeniera Química

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO.

**A T E N T A M E N T E**

**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 13 de Marzo de 2003

MODULO

PROFESOR

FIRMA

I

Ing. Juan Rafael Garibay Bermúdez

II

Dra. Frida María León Rodríguez

III

Dr. Armando Aguilar Márquez

*[Handwritten signatures and initials]*  
[Signature]  
[Signature]  
[Signature]  
B

ESTE TRABAJO LO DEDICO ESPECIALMENTE

A MIS PADRES

PLACIDO SANTIAGO GOMEZ  
MARCELA ESPINOSA GARCIA

A MIS HERMANOS

JAVIER  
ADOLFO  
FRANCISCO

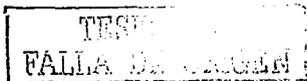
A MI SOBRINA

ELIZABETH

A MI CUÑADA

DINA ARELI

Y A LA FAMILIA GAETA MARTINEZ



C

## DEDICATORIAS

Con todo respeto a mi Dios Jehová, gracias por darme la fortaleza para continuar, a pesar de tantos problemas que suelen surgir.

A mis padres.

Les agradezco infinitamente por el apoyo incondicional que siempre me han dado, sus consejos que son de gran utilidad para seguir adelante, su cariño, comprensión y su amor. Los quiero mucho.

A mis hermanos.

Gracias por su apoyo y comprensión por haberme brindado su gran amistad, soy muy afortunada, ya que se que cuento con ustedes en todo momento. Los quiero mucho.

A mis amigos.

A todos aquellos con los que compartí momentos muy agradables, y también ratos desagradables, gracias por soportarme y brindarme su amistad sincera y desinteresada, especialmente a la generación I.Q. 21.



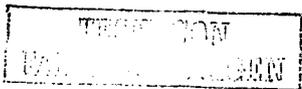
D

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Dra. Frida María León Rodríguez, a quien le agradezco su apoyo, su paciencia, su amable atención y sus comentarios que fueron de gran ayuda en el desarrollo de este trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

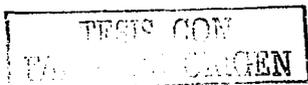
Gracias por haberme dado la oportunidad de ingresar y por la formación que me diste a lo largo de mi carrera. Agradezco especialmente a la F.E.S.C. por todo lo bueno que me brindo.



1/11

## OBJETIVOS

- Implementar un sistema de calidad en los laboratorios de análisis de productos químicos que se utilizan en el mantenimiento de torres de enfriamiento.
- Analizar las diferencias de los métodos de análisis de las Normas Mexicanas con los utilizados en el Departamento de Control de Calidad de la empresa, para tomar acciones correctivas en los procedimientos de análisis.
- Proponer un programa de mejora continua en el Departamento de Control de Calidad de la empresa.
- Proponer un programa de trabajo para el personal que maneja los análisis de la torre de enfriamiento.



4

## INDICE

**INTRODUCCION.....4**

### **CAPITULO 1 CALIDAD DEL AGUA EN UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO.**

**1.1 Características del agua de consumo en una torre de enfriamiento.....7**

1.1.1 Aguas Subterráneas.....7

1.1.2 Aguas Superficiales.....8

1.1.3 Agua de Mar.....9

1.1.4 Características del agua para una torre de enfriamiento.....10

**1.2 Tipos de sistemas de torres de enfriamiento.....10**

1.2.1 Sistemas abiertos de un solo paso.....10

1.2.2 Sistemas de enfriamiento cerrados.....11

1.2.5 Sistemas de enfriamiento de recirculación abierta.....12

**1.3 Tipos de torres de enfriamiento.....13**

1.3.1 Torres de tiro natural.....13

1.3.2 Torres de tiro mecánico.....13

### **CAPITULO 2 COMPUESTOS QUIMICOS.**

**2.1 Problemas derivados del agua que afectan a la Torre de enfriamiento.....15**

2.1.1 Corrosión.....15

2.1.2 Incrustaciones.....18

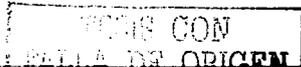
2.1.2.1 Dureza.....20

TEMAS CON  
FALLA DE ORIGEN

2.1.2.2 Alcalinidad.....	23
2.1.3 Control Microbiológico.....	25
2.1.4 Deposito de Fangos.....	26
2.2 Calculo del índice de saturación utilizando la grafica de Langeller.....	27
2.2.1 Calculo del índice de saturación utilizando otro método.....	34
2.3 Compuestos químicos utilizados en una torre de enfriamiento.....	39
2.3.1 Control de la Corrosión.....	39
2.3.2 Prevención de incrustaciones y depósito de fangos.....	45
2.3.3 Prevención de control Microbiológico.....	47

### **CAPITULO 3 EVALUACION A LOS COMPUESTOS QUIMICOS.**

3.1 Pruebas de laboratorio realizadas a los productos químicos.....	50
3.1.1 Seguimiento y medición del producto.....	51
3.1.2 Control de producto no conforme.....	51
3.1.3 Calibración del material de laboratorio.....	52
3.1.4 Técnicas de análisis del producto terminado.....	55
3.2 Información técnica de los productos químicos.....	60
3.2.1 Dispersante y hoja de análisis.....	61
3.2.2 Biocida y hoja de análisis.....	63
3.2.3 Bactericida y hoja de análisis.....	64
3.2.4 Inhibidor y hoja de análisis.....	65
3.2.5 Desincrustante y hoja de análisis.....	66
3.3 Análisis del Agua de la torre de enfriamiento.....	67



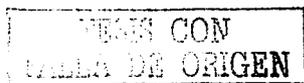
3.4 Comparación de la técnica de análisis utilizada en el laboratorio de control de calidad de la compañía con el proyecto de la norma, determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales y residuales.....	69
3.4.1 Comparación de la técnica de análisis utilizada en el laboratorio de control de calidad de la compañía de dureza total contra la norma de determinación de dureza método del E.D.T.A. ....	70
3.5 Técnicas de análisis del agua de las torres de enfriamiento.....	71

#### **CAPITULO 4 PROGRAMA DE MEJORA CONTINUA.**

4.1 Propuesta para mejorar el análisis del agua de la torre de enfriamiento.....	74
4.1.1 Control de las características del agua.....	75
4.1.2 Control de inhibidor de corrosión.....	76
4.1.3 Control de temperatura.....	76
4.1.4 Control de reactivos.....	77
4.1.5 Control de índice de incrustación.....	77
4.1.6 Control de ciclos de concentración.....	77
4.1.7 Informes y reportes.....	78

<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>82</b>
---------------------------	-----------

<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>84</b>
---------------------------	-----------



## **INTRODUCCIÓN**

Todos necesitamos y vivimos gracias al agua, líquido vital cuya disponibilidad escasea por consumo indiscriminado, mala distribución, desperdicio y por la contaminación excesiva a la que esta expuesta el agua, aun sabiendo que sólo el 3% de la existencia en el planeta puede usarla el ser humano.

El agua funciona como un portador y recolector de sustancias del aire, tierra y corrientes de agua, transportándolas sin cesar en el curso de su ciclo natural. Los materiales disueltos en el agua los absorben los microorganismos que habitan ríos, lagos y mares purificando aguas con elevada DBO.

El agua y el oxígeno que penetran en la tierra en donde el aire apenas puede llegar, y al mismo tiempo el agua es purificada por la cama del filtro natural volviéndose agua subterránea limpia. Este proceso es llamado purificación natural.

La naturaleza y calidad del agua dependen en gran medida de las características del territorio sobre el cual se formen las nubes, así como las del lugar en que se precipite la lluvia. Las aguas de ríos y subterráneas, purificadas naturalmente, se emplean para usos domésticos o industriales.

Para la industria, el agua es un recurso indispensable para un gran tipo de procesos de producción en donde sufre tanto transformaciones físicas como de calidad.



El agua, después de ser usada, se descarga como agua residual que contiene gran variedad de contaminantes naturales y artificiales.

Se calcula que más del 90% de residuos generados por la industria se vierten en las aguas, por ello el agua que los contiene debe purificarse a un grado tolerable para devolverla a la naturaleza.

Este es el propósito fundamental de los tratamientos de aguas residuales industriales y domésticas que buscan proteger el ambiente natural y mantener la vida sana de los seres humanos.

El agua que se ha obtenido de forma barata y abundante en el pasado ahora se ha convertido en un recurso limitado y valioso, en el que hay que realizar fuertes inversiones para su mantenimiento y saneamiento, replanteándose así el compromiso de hacer un uso eficiente del agua, su conservación y rehusó en aquellos casos donde no se requiere con calidad potable.

Al hablar de la calidad del agua pueden intervenir diversas situaciones, que como ya vimos depende de la región, es por ello que varias industrias llegan a utilizar diversos productos químicos que les ayude en sus procesos de purificación y ser utilizada para enfriamiento u otros fines industriales.

Al usar cualquier clase de producto químico para tratamiento de aguas de enfriamiento como: inhibidores de corrosión, inhibidores de incrustación, y agentes

TRABAJO CON  
FUENTE DE ORIGEN

para control de lama, es importante estudiar las especificaciones de la planta incluyendo la calidad del agua de repuesto, calidad del agua circulante, ciclos de concentración, temperatura de agua, tiempo de operación, materiales del intercambiador de calor, tuberías, etc., así como las condiciones de operación, al medio ambiente y regulaciones o normativas contra la contaminación. También es esencial la consideración de la correlación entre los productos químicos aplicados ya que, pueden reaccionar entre sí y provocar efectos adversos. Estos estudios son necesarios para elegir los productos químicos óptimos y determinar el método de aplicación, también el monitoreo que se realiza a la planta industrial serán muy importantes, desde el punto de vista de la efectividad del tratamiento y de la economía.

TRABAJO CON  
FUENTE DE ORIGEN

## **CAPITULO 1 CALIDAD DEL AGUA EN UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO**

### **1.1 Características del agua de consumo en torres de enfriamiento.**

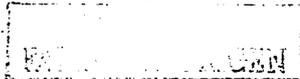
Las cantidades de agua requeridas para el enfriamiento varían considerablemente, dependiendo de las temperaturas del agua, del uso particular a que se destinen, del sistema y capacidad del equipo de enfriamiento.

Las fuentes de abastecimiento de agua para torres de enfriamiento pueden ser:

#### **1.1.1 Aguas Subterráneas.**

Debido a su temperatura, el agua de pozos profundos es muy estimada para propósitos de enfriamiento. De manera general el agua de pozos profundos o de manantiales, usualmente es mucho más constante en su temperatura, en pozos de 33 a 66 pies su temperatura es de 2 a 3 °F sobre la temperatura media anual de la atmósfera de la región vecina y aumenta cerca de 1°F por cada 64 pies de profundidad adicional. El agua de pozos profundos proviene de estructuras de rocas porosas a diferencia de las de pozos poco profundos que provienen de la unión de una roca porosa, como caliza o arena con una roca impermeable, por ejemplo de arcilla o pizarra.

Los pozos pocos profundos son fácilmente contaminables por los desagües superficiales y no son bacteriológicamente puras aunque sea más bajo su contenido en sales disueltas.



### 1.1.2 Aguas Superficiales.

Las aguas superficiales usualmente están sujetas a grandes variaciones según la estación del año.

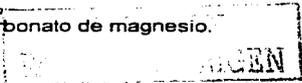
Los lagos estanques y depósitos también están sujetos a variaciones de temperatura a lo largo de las estaciones, siendo este fenómeno más marcado en las aguas poco profundas. las aguas de los ríos contienen sustancias inorgánicas y orgánicas, parte en disolución y parte en suspensión. La cantidad y suspensión en los sólidos disueltos depende de la naturaleza de los suelos, por donde pasan las corrientes, y de la composición de las rocas, a través de las cuales pasan las aguas de los manantiales.

Las aguas de los ríos algunas veces contienen grandes cantidades de materia inorgánicas y orgánicas en suspensión y son turbias, de color oscuro.

Las aguas que atraviesan terrenos calcáreos o yesos, además de las sustancias en suspensión contienen cantidades apreciables de bicarbonato y sulfato de calcio. El bicarbonato se puede formar mediante la siguiente reacción.



Cuando la piedra caliza  $\text{CaCO}_3$ , se encuentra al carbonato de magnesio, se disuelve como bicarbonato de magnesio.





Por lo que generalmente las aguas son alcalinas.

### 1.1.3 Agua de Mar.

Contienen gran cantidad de sales disueltas, principalmente cloruros y sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, yoduros de sodio, potasio, calcio, magnesio, etc. La composición de las aguas marítimas es variable, aumentando o disminuyendo su contenido de impurezas según sea su ubicación.

Estas impurezas aunque son difíciles de eliminar y la operación es costosa, las aguas se han desechado en aquellos lugares en donde las fuentes de abastecimiento no proporcionan la cantidad deseada de agua pura. En las localidades en donde solamente se dispone de agua de mar, las cantidades de que se pueden disponer sólo están limitadas por las tomas de tuberías y bombas. Es por eso que el agua sólo se usa una vez y se tira.

La variación anual de temperatura encontrada en varias localidades puede cubrir rangos tan bajos como 11°F. La ubicación y profundidad de la toma y su localización en una bahía o mar abierto, puede afectar la temperatura.



#### **1.1.4 Características del agua para una torre de enfriamiento.**

Las características del agua de enfriamiento varían con diferentes clases de aguas para distintos usos industriales, la única especificación general es que el agua no debe formar depósitos aislantes al calor, ya sean de origen orgánico o inorgánico, y que no debe ser extremadamente corrosiva bajo las condiciones de trabajo.

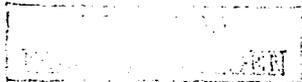
#### **1.2 Tipos de sistemas de torres de enfriamiento.**

El propósito del sistema de una torre de enfriamiento es simplemente el enfriar el agua caliente de tal forma que pueda ser recirculada a una unidad operativa para extraer el calor. El agua caliente proveniente de los equipos es enfriada mediante el contacto con el aire. Aproximadamente del 80 al 90 % del enfriamiento es logrado mediante la evaporación de una pequeña cantidad de agua.

En estos sistemas la remoción del calor de los equipos o procesos se lleva a cabo por tres tipos diferentes de sistemas de enfriamiento y a continuación se describen.

##### **1.2.1 Sistemas abiertos de un solo paso.**

Estos sistemas de enfriamiento son aquellos que utilizan el agua de enfriamiento una sola vez antes de descargarla a la corriente de desecho



Debido a que los sistemas de enfriamiento de un solo paso, incluso de tamaño pequeño, utilizan volúmenes relativamente grandes de agua, estos generalmente son empleados donde existe agua disponible a una temperatura baja en grandes cantidades y a bajo costo.

Casi siempre la fuente de suministro de agua es de pozos, ríos y lagos en los cuales el único costo involucrado es el que representa el bombeo. Por lo general, el único tratamiento externo aplicado a las aguas utilizadas en estos sistemas, es un tamizado para remover objetos grandes que pueden dañar las bombas y los intercambiadores de calor entre otros. Debido a que la evaporación es despreciable en estos sistemas, las características minerales del agua a la entrada y a la salida son prácticamente las mismas.

### **1.2.2 Sistemas de enfriamiento cerrados.**

En estos sistemas el agua circula a través de un circuito cerrado y esta sujeto a cambios alternados de enfriamiento y calentamiento sin estar en contacto con el aire. Los sistemas cerrados son usados para el enfriamiento de motores de gas y compresores. los motores diesel y máquinas estacionarias, usan generalmente sistema de radiador similares a los sistemas de enfriamiento de los automóviles. Estos sistemas también son aplicados en sistemas de agua helada de aire acondicionado para transferir el enfriamiento al refrigerante, que a su vez enfría el aire en las unidades lavadoras de aire.



Eliminando los depósitos incrustantes, estos sistemas minimizan el riesgo de rompimiento de cilindros, cabezas y otros tipos de fallas mecánicas. También son menos susceptibles al ensuciamiento microbiológico por depósitos de algas y lama, lo cual ocasiona los mismos problemas que los depósitos incrustantes.

Los sistemas cerrados también reducen los problemas de corrosión debido a que el agua recirculada no está continuamente saturándose con oxígeno, como sucede en los sistemas abiertos.

### **1.2.3 Sistemas de enfriamiento de recirculación abierta**

Debido al creciente interés sobre la conservación del agua, se ha establecido una gran demanda en programas de reutilización de ella. La industria se enfoca a los sistemas de recirculación, donde el agua de enfriamiento puede ser usada una y otra vez.

En un sistema abierto de recirculación toma agua del estanque o de la fosa de una torre de enfriamiento, y luego la regresa a través de la unidad de evaporación, donde el agua que se evapora enfría el agua que queda. El sistema de recirculación abierta repite este proceso de reutilización, tomando suficiente agua de repuesto para compensar el agua evaporada, así como el agua de purga del sistema y controlar con el agua de repuesto el carácter químico del agua de recirculación.



### **1.3 Tipos de torres de enfriamiento.**

Las torres de enfriamiento pueden clasificarse en dos tipos:

#### **1.3.1 Torres de tiro natural.**

Las torres de tiro natural están diseñadas para aprovechar la diferencia de temperatura entre el aire ambiente y el aire caliente de la torre. Este diseño crea un efecto de chimenea que hace que el aire frío en la parte baja de la torre empuje hacia fuera el aire caliente a la parte superior de la torre.

#### **1.3.2 Torres de tiro mecánico.**

Estas torres usan ventiladores o sopladores para hacer pasar aire a través de la torre.

Las torres de tiro mecánico se subdividen a su vez en dos tipos:

- 1.- Torres de tiro forzado.
- 2.- Torres de tiro inducido.

Torres de tiro forzado.- en estas torres el aire se introduce en la parte inferior de la torre por medio de un ventilador, pasa a contra corriente con la cascada de agua y sale por la parte superior.

Torres de tiro inducido se clasifican a su vez en dos:



- a) Tiro inducido a contra flujo.
- b) Tiro inducido de flujo cruzado.

Torre de tiro inducido a contra flujo.-El ventilador se coloca en la parte superior de la torre y las persianas se localizan en la parte inferior dando acceso al aire de tal manera que circula a menor velocidad en la sección de empacado y este es descargado por la chimenea a alta velocidad. En estas torres las condiciones de transferencia de calor son mejores, debido a que el aire más frío hace contacto con el agua más fría.

Torres de tiro inducido a flujo cruzado.- Las persianas de acceso de aire se localizan en todo lo alto de los costados opuestos de la torre, de tal forma que el aire circula de forma perpendicular a la caída del agua, consiguiendo enfriamiento más eficiente en la parte de acceso de aire y menores en la parte interna. Estas torres tienen la ventaja de poseer un patrón de aire más sencillo, es decir, es mayor el flujo de aire que se consigue en estas con la misma cantidad de energía utilizada para el ventilador, comparándola con las torres a contra flujo.

TIENE CON  
FALLA DE ORIGEN

## **CAPITULO 2 COMPUESTOS QUIMICOS.**

### **2.1 Problemas derivados del agua que afectan a la torre de enfriamiento.**

Las características del agua y de la instalación permiten prever el tipo de tratamiento que convendrá aplicar a una instalación determinada. Sin embargo, es el seguimiento posterior de la instalación el que permitirá definir el programa más indicado por la eficacia de los resultados y el ajuste del costo operativo.

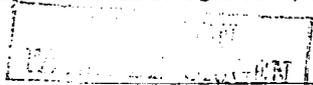
Los problemas derivados del agua y que surgen en una torre de enfriamiento son:

#### **2.1.1 Corrosión**

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

La corrosión de los metales es un fenómeno químico o electroquímico sumamente complejo. En los sistemas de aguas y aguas residuales la corrosión provoca:

- 1) Pérdidas significativas en la capacidad hidráulica de transporte de los tubos, conexiones y otros componentes del sistema.
- 2) Posibles fallas estructurales.
- 3) Detrimento en la calidad del agua transportada.



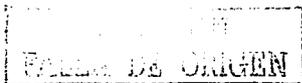
La pérdida en capacidad de transporte por corrosión y crecimiento de algas es importante tanto económicamente como de operación y funcionamiento del sistema de enfriamiento. Una exploración completa de los sistemas de agua antes de los días de aplicación de un tratamiento correctivo adecuado para las aguas corrosivas mostró por ejemplo, que las tuberías de hierro fundido cubiertas con alquitrán que transportaba aguas suaves, perdieron aproximadamente la mitad de su capacidad en 30 años de servicio, aun aplicando tratamientos continuos.

La pérdida de capacidad, por otras razones además de la corrosión directa, se produce por formación de incrustación, crecimientos biológicos y depósitos de limo. Otros efectos indirectos a la corrosión son; la adsorción a las sustancias orgánicas, sobre los productos de la corrosión, el crecimientos de microorganismos, la producción de olores y otros cambios objetables en la calidad del agua.

Existen diferentes tipos de corrosión;

a) Corrosión por picaduras

Es una forma de ataque localizado, el cual se caracteriza por la formación de picaduras generalmente aisladas en la superficie metálica. La profundidad, número, tamaño, y distribución de las picaduras es característica, es una de las formas más destructivas de los materiales de las torres de enfriamiento y difíciles de detectar, ya que el componente puede fallar sin una pérdida aparente de peso.



b) Corrosión generalizada

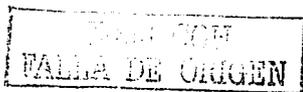
Se caracteriza por un ataque uniforme del metal sobre toda la superficie, la corrosión de este tipo es también uniforme con respecto al tiempo; el metal es convertido en productos solubles de la corrosión con un ritmo constante, y el ataque puede predecirse y en cierto grado controlarse. Por otro lado cuando la superficie o el medio no son uniformes, el ataque no es general, se concentra en zonas locales originando una picadura.

c) Corrosión por hendiduras

Esta forma de corrosión esta asociada a pequeños volúmenes de electrolito estancado dentro de ranuras, hoyos, empaques, depósitos superficiales, juntas, etc., con lo cual se forman celdas de aireación o concentración diferencial.

d) Corrosión galvánica.

Ocurre cuando entre dos metales o aleaciones diferentes expuestos a un electrolito, se genera una diferencia de potencial electroquímico, el metal menos resistente se comporta como ánodo, mientras que el de mayor resistencia se comporta como cátodo.



e) Corrosión-Erosión.

Este tipo de corrosión está asociado con la turbulencia y flujos a alta velocidad, particularmente donde existen metales blandos y cobre, se caracteriza por picaduras amplias, continuas y metal brillante. Ningún material es completamente resistente a este tipo de corrosión.

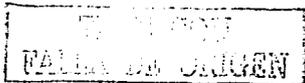
### 2.1.2 Incrustaciones

La incrustación es un recubrimiento calcáreo que se forma en el interior de conducciones y depósitos, y, específicamente, la capa dura, constituida en general por sulfato de calcio, que se produce en el equipo que está en contacto con el agua. Un aumento importante de su espesor puede determinar la destrucción del metal.

Las sustancias que forman incrustaciones son: el carbonato de calcio, el sulfato de calcio, el fosfato de magnesio, el silicato de magnesio, el fosfato de calcio y la sílice combinada con los iones aluminio y hierro.

Las características más importantes de algunas incrustaciones son:

- a) Incrustación por carbonatos: es una capa porosa ligeramente granular formada por cristales de carbonato de calcio que contiene partículas de sólidos en suspensión que entran con el agua de alimentación. Se identifica por la



efervescencia que produce al añadir un ácido mineral; se desprende anhídrido carbónico y se forma una sal soluble de calcio.

- b) Incrustación por sulfato: Este depósito es de mayor peso que la de los carbonatos, tiene gran dureza, es de aspecto homogéneo semejante al cemento. Sus cristales son de tamaño pequeño, no se pulveriza fácilmente y es más quebradizo. Se puede identificar sólo con los ácidos minerales en caliente.
- c) Incrustación formada por sílice: su consistencia es dura, semejante a la porcelana; es frágil, no se pulveriza, es compacta e impermeable y no la atacan los ácidos minerales.
- d) Incrustación por sales de hierro: generalmente está constituida por compuestos de hierro que se originan en el proceso de corrosión, tiene un color oscuro, no muy dura, presenta propiedades magnéticas, sus cristales tienen la forma de agujas y se pueden identificar mediante los ácidos minerales disolviéndose en forma de soluciones de color café.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Un programa de control del poder incrustante de las aguas de las torres de enfriamiento utiliza las mediciones de; dureza total, Ca, Mg, pH, alcalinidad de anaranjado de metilo ó alcalinidad M y la temperatura, que definen la concentración de iones carbonato y bicarbonato y la solubilidad del carbonato. También hay que controlar la concentración de sulfatos, sílice y otros contaminantes como

hidrocarburos, glicoles, amoniaco, etc. El índice de estabilidad de Langelier (que se vera más adelante), permite determinar el comportamiento agresivo o incrustante del agua.

La prevención de las incrustaciones de carbonato de calcio es lograda de dos formas diferentes.

- Primero el pH de la torre de enfriamiento debe ser controlado hasta el grado en que una solubilidad total es mantenida.
- Segundo, sustancias químicas inhibidoras pueden ser añadidas al agua de enfriamiento para prevenir las incrustaciones de carbonato de calcio.

### 2.1.2.1 Dureza

Se considera que la dureza es causada por iones metálicos divalentes capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar incrustaciones.

Los principales cationes y aniones que causan dureza en el agua son los siguientes:

CATIONES	ANIONES
Ca <sup>+2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>
Mg <sup>+2</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
Sr <sup>+2</sup>	Cl <sup>-1</sup>
Fe <sup>+2</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>
Mn <sup>+2</sup>	SiO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>

Cuadro 2.1



Desde el punto de vista sanitario, las aguas duras son tan satisfactorias para el consumo humano como las aguas blandas. Sin embargo, un agua dura requiere demasiado jabón para la formación de espuma y crea problemas de lavado; además deposita lodos e incrustaciones sobre las superficies con las cuales entra en contacto. El valor de la dureza determina, su conveniencia para uso doméstico e industrial y la necesidad de un proceso de ablandamiento.

Existen distintas formas de dureza y son las siguientes:

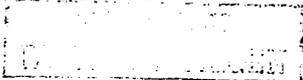
**a) Dureza total:** Mide el contenido total de iones calcio y magnesio. Se puede distinguir entre la dureza de calcio, y la dureza de magnesio.

**b) Dureza carbonatada:** en aguas naturales los bicarbonatos son la principal forma de alcalinidad; por lo tanto, la parte de la dureza total químicamente equivalente a los bicarbonatos presentes en el agua es considerada como la dureza carbonatada. Esto quiere decir:

$$\text{Alcalinidad (mgL}^{-1}\text{)} = \text{dureza carbonatada (mgL}^{-1}\text{)}$$

La dureza carbonatada se conoce también como "dureza temporal" o "no permanente" por que desaparece cuando hierve el agua, es decir que puede precipitarse mediante ebullición prolongada.

**c) Dureza no carbonatada:** es toda dureza que no esta químicamente relacionada con los bicarbonatos. Esto quiere decir:



$$\text{Dureza no carbonatada (mgL}^{-1}\text{)} = \text{D. total (mgL}^{-1}\text{)} - \text{alcalinidad (mgL}^{-1}\text{)}$$

Esta dureza incluye principalmente sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y magnesio. La evaporación de aguas que contienen estos iones produce la cristalización de compuestos como el sulfato de calcio que forma una incrustación dura y frágil.

**d) Dureza no carbonatada negativa:** algunas aguas tienen alcalinidad mayor que la dureza total. En estos casos al calcular la dureza no carbonatada por la ecuación:

$$\text{Dureza no carbonatada (mgL}^{-1}\text{)} = \text{D. total (mgL}^{-1}\text{)} - \text{alcalinidad (mgL}^{-1}\text{)}$$

Se obtiene un valor negativo, el cual representa dureza pero es comúnmente conocido como "dureza no carbonatada negativa". Esto significa que existen iones bicarbonatos de los necesarios para satisfacer los iones metálicos divalentes causantes de la dureza.

La dureza se puede expresar en meqL<sup>-1</sup>, en ppm de carbonato de calcio y en grados hidrométricos de los cuales el más común es el francés.

Es muy probable que un agua se clasifique como dura en una zona y se le considere suave en otra. El siguiente cuadro muestra la clasificación de las aguas en términos de dureza.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### RANGO DE DUREZA.

0 – 75 (ppm)	Blanda
75 – 150 (ppm)	Moderadamente dura
150 – 300 (ppm)	Dura
Mayor de 300 (ppm)	Muy dura

Cuadro 2.2

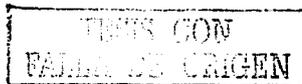
#### 2.1.2.2 Alcalinidad

La alcalinidad es una medida de la capacidad para neutralizar ácidos. Contribuyendo a la alcalinidad principalmente los iones bicarbonato, carbonato y hidróxido. La alcalinidad se determina por titulación usando soluciones ácidas estándar con fenoltaleína y anaranjado de metilo como indicadores.

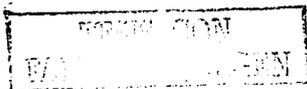
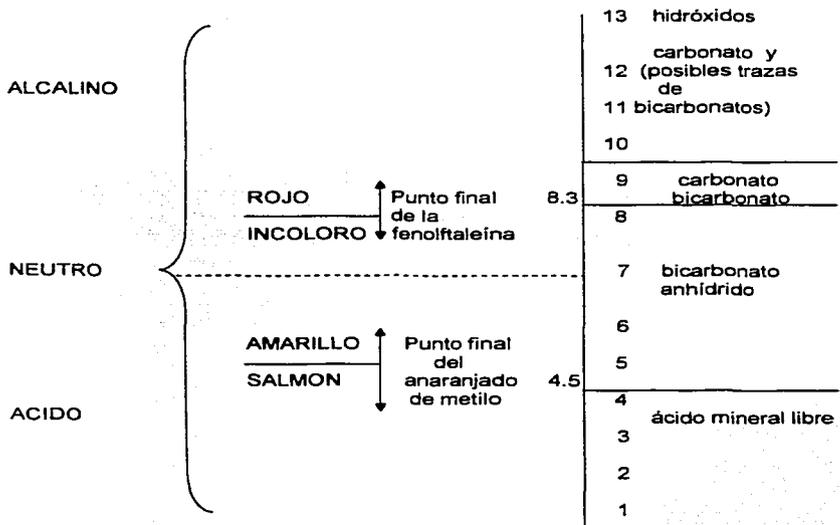
Los resultados de la titulación con anaranjado de metilo se expresan como alcalinidad al anaranjado de metilo, alcalinidad M, ó alcalinidad total.

Los resultados de la titulación con indicador de fenoltaleína se expresan como alcalinidad de la fenoltaleína, alcalinidad F, ó alcalinidad libre. (muchas aguas naturales contienen bióxido de carbono libre y no muestran alcalinidad a la fenoltaleína).

En general, se ha demostrado que para que exista acidez mineral el pH debe ser menor de 4.5 y, además, para que exista alcalinidad cáustica el pH debe ser mayor de 10.



En forma esquemática, los tipos de acidez y alcalinidad de importancia en el análisis, son los intervalos aproximados de pH, y son mostrados en la siguiente escala, en donde se relaciona la alcalinidad de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos.



### 2.1.3 Control Microbiológico

Los microorganismos de los sistemas de torres de enfriamiento afectan al funcionamiento de los circuitos de distintas formas. Pueden ser agentes directos de la corrosión o formar depósitos, que a su vez son responsables de otras formas de corrosión.

Los microorganismos se introducen en los sistemas de enfriamiento con el agua de aporte, ó a partir del aire que cruza las torres.

La temperatura y el pH de las torres están, en general, en condiciones aptas para que se produzca el crecimiento bacteriano, y disponen muchas veces de los nutrientes necesarios.

Bacterias, algas y hongos son las especies más comunes, por ejemplo las bacterias, en particular, se presentan en una gran variedad de especies que hace difícil su control, por que los agentes tóxicos para unas especies pueden tener efecto, y para otras especies no tiene el mismo efecto, esto quiere decir que en ocasiones las bacterias se hacen también inmunes a cierto compuesto químico, por eso es recomendable cambiar el compuesto químico periódicamente.

Las bacterias del tipo bacillus, aerobias, forman esporas muy resistentes, que se producen de nuevo cuando no están bajo una fuerte acción biocida. Las bacterias sulfato reductoras, desulfobrio, son capaces de reducir los sulfatos formando sulfuro de hidrógeno, y provocar un ataque local característico por su aspecto en círculos



concéntricos. Su presencia se identifica también por los depósitos negros de sulfuro de hierro.

Algunas bacterias son capaces de oxidar los nitritos empleados como inhibidores de corrosión y otras forman amoníaco que ataca el cobre y sus aleaciones. Muchos microorganismos pueden utilizar hidrógeno en su proceso metabólico, el cual acelera la despolarización catódica y aumenta la velocidad de corrosión. Un efecto similar lo produce el oxígeno liberado por las algas. A estos efectos se une la corrosión bajo depósito resultante de la formación de las células de la aeración.

Las torres de enfriamiento, que usan madera como material de construcción resultan deterioradas por el ataque de la celulosa y la lignina por los microorganismos, especialmente hongos.

#### **2.1.4 Depósito de fangos**

Los sólidos en suspensión son siempre un problema en los sistemas de agua de enfriamiento. La torre de enfriamiento es un lavador de aire muy eficiente y arrastrará consigo las partículas de polvo que flotan en la atmósfera, mientras más seco sea el clima, más polvoroso es el problema.

La mayoría de estas partículas son arcilla, sílice o sustancias de naturaleza orgánica.



La prevención de la deposición en las superficies de la transferencia térmica puede ser lograda mediante la neutralización de las cargas negativas que están sobre las partículas y creando unas moderadas cargas positivas. Una partícula no cargada puede depositarse por sedimentación, pero una partícula con una moderada carga positiva permanecerá fluidizada en el agua.

La prevención de la formación de depósitos se inicia con los tratamientos previos externos. Tanto la decantación como la filtración convienen que floculen y decanten bien, usando adecuadamente los poli electrólitos.

## **2.2 Calculo de indice de saturación utilizando la grafica de Langelier.**

La materia mineral disuelta en la mayor parte de los abastecimientos de agua, consiste principalmente de calcio y magnesio en forma de dureza de bicarbonatos y de dureza de no carbonatos, principalmente cloruros y sulfatos. Se encuentran también presentes sales de sodio, bióxido de carbono disuelto, oxígeno y otros gases. La tendencia de un abastecimiento de agua, para depositar incrustaciones cuando se calienta o se hace más alcalina o de atacar corrosivamente a los metales, depende del balance entre los varios constituyentes.

Al controlarlos con un tratamiento correctivo, tanto la incrustación como la corrosión, pueden reducirse al mínimo.

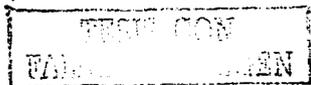


El aumento de temperatura acelera las velocidades de ambos procesos. Por ejemplo, la velocidad de corrosión en un agua normalmente corrosiva aumenta aproximadamente el mismo número de veces que aumentaría la velocidad de deposición de incrustación si el agua fuese incrustante.

La incrustación que se forma bajo condiciones moderadas de temperatura es debida a que la dureza de bicarbonato se convierte por calentamiento en carbonato de calcio normal, o se afecta por aumento de alcalinidad suficiente para causar sobresaturación con respecto al carbonato de calcio.

Las relaciones de solubilidad del carbonato de calcio disminuyen al mínimo el ataque corrosivo, por que la agresividad del bióxido de carbono disuelto en el agua se reduce considerablemente conforme se aproxima el equilibrio de saturación. Exactamente en condición de equilibrio, las diversas formas de bióxido de carbono (bióxido de carbono libre, bicarbonatos y carbonatos) están balanceadas en tal forma que no causan incrustación ni corrosión. El ajuste de la composición del agua para controlar estas condiciones es, por lo tanto, controlada por las relaciones de equilibrio de solubilidad del carbonato de calcio.

Un método conveniente para interpretar un análisis de agua con este propósito utiliza expresiones logarítmicas de la dureza de calcio, la alcalinidad al anaranjado de metilo y un factor para la temperatura y los sólidos totales.



De la figura 1 (Carta de índice de saturación de Langelier), el pH de saturación (  $pH_s$  ) y el índice de saturación (  $I_s$  ) pueden calcularse, cuando se conocen los valores de la dureza de calcio, alcalinidad y sólidos totales .

Las características incrustantes y no incrustantes del agua pueden ser predeterminadas a partir de la familia de curvas, mostrada en la siguiente figura, por ejemplo:

$$pH_s = pCa + pAlk + C$$

Donde:

$$pH_s = \text{pH de saturación.}$$

$pCa$  = es un factor logarítmico de la dureza de calcio, expresado en ppm de  $CaCO_3$  equivalente.

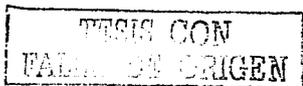
$pAlk$  = es el factor logarítmico de la alcalinidad M, expresado en ppm de  $CaCO_3$  equivalente.

$C$  = es el factor logarítmico de los sólidos totales en ppm a la temperatura del agua.

$I_s$  = es el índice de saturación y es la diferencia algebraica entre el pH Actual y el pH calculado de saturación, es decir,

$$I_s = \text{pH ( actual )} - \text{pH}_s \text{ ( calculado)}$$

Veamos como influye el índice de saturación en los siguientes casos:



$I_s$  = es cero, es decir, cuando  $pH(\text{actual})$  es igual a  $pH_s$ , existe un equilibrio de saturación y no hay formación de incrustación y el ataque corrosivo se disminuye al mínimo.

$I_s$  = es positiva, es decir, cuando el  $pH(\text{actual})$  es mayor que  $pH_s$ , existe una condición de sobresaturación de carbonato de calcio con respecto a la alcalinidad y a los sólidos totales a las condiciones existentes de temperatura, habiendo tendencia para depositar incrustación sobre la superficie de transmisión de calor.

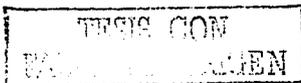
$I_s$  = es negativa, es decir, cuando  $pH(\text{actual})$  es menor que  $pH_s$ , el equilibrio está desbalanceado en dirección opuesta, y ocurrirá corrosión del metal descubierto y se disolverá cualquier incrustación previamente formada.

Con objeto de inhibir la corrosión, es necesario mantener un índice de saturación  $I_s$  ligeramente positivo, suficientemente alto para asegurar en forma definitiva la deposición de incrustación.

El valor deseado de  $I_s$  puede variar de 0.6 a 1.0 o mayor dependiendo de la presencia de sustancias inhibidoras.

#### **Ejemplo 1:**

El siguiente cuadro indica las características del agua de repuesto y el agua de circulación.



	AGUA DE REPUESTO	AGUA DE CIRCULACION
Temperatura °C	26.7	60
Dureza de calcio, como CaCO <sub>3</sub> (ppm).	80	102
Alcalinidad M, como CaCO <sub>3</sub> (ppm).	196	255
Sólidos totales (ppm).	392	510
pH	7.5	8.0

Cuadro 2.3

Se van a utilizar primero los datos del agua de repuesto para obtener el Índice de saturación ( $I_s$ ), los resultados que se requieren se obtendrán de la figura 1 (Carta del índice de saturación de Langelier).

- Primero localice la Dureza de calcio que tiene el valor de 80 ppm. en la escala de partes por millón, que se encuentra en la parte inferior, ahora léase verticalmente hacía arriba hasta la diagonal para Dureza de Calcio como CaCO<sub>3</sub>, y luego horizontalmente a la izquierda hasta la escala de alcalinidad pAlk y pCa. y se obtiene el valor de **pCa = 3.10**
- En forma similar, localícese la alcalinidad para M de 196 ppm. sobre la escala de partes por millón, léase verticalmente hacia arriba hasta la línea diagonal para Alcalinidad M como CaCO<sub>3</sub> y luego horizontalmente a la izquierda hacía la escala de alcalinidad P y pCa. el valor es **pAlk = 2.41**

- Por último para encontrar el valor de C, localice el valor de sólidos totales de 392 ppm en la escala de partes por millón y léase verticalmente hasta la línea de temperatura con valor de 26.7°C. de este punto ahora léase a la derecha sobre la escala C. y el valor obtenido es **C= 2.13**

Con los valores obtenidos, ahora sacaremos el valor de  $pH_s$ , con la siguiente formula:

$$pH_s = pCa + pAlk + C$$

$$pH_s = 3.10 + 2.41 + 2.13$$

$$pH_s = 7.64$$

El índice de saturación se obtiene de la siguiente forma:

$$I_s = pH \text{ (actual)} - pH_s \text{ (calculado)}$$

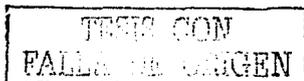
$$I_s = 7.5 - 7.64$$

$$I_s = -0.14$$

Para el agua de circulación se hace lo mismo que se hizo para el agua de repuesto, los resultados obtenidos se muestran en el siguiente cuadro.

	AGUA DE REPUESTO	AGUA DE CIRCULACION
<b>pCa</b>	3.10	3.0
<b>pAlk</b>	2.41	2.30
<b>C</b>	2.13	1.57
<b>pH<sub>s</sub></b>	7.64	6.87
<b>I<sub>s</sub></b>	-0.14 (ligeramente corrosiva)	1.13 (incrustante)

Cuadro 2.4



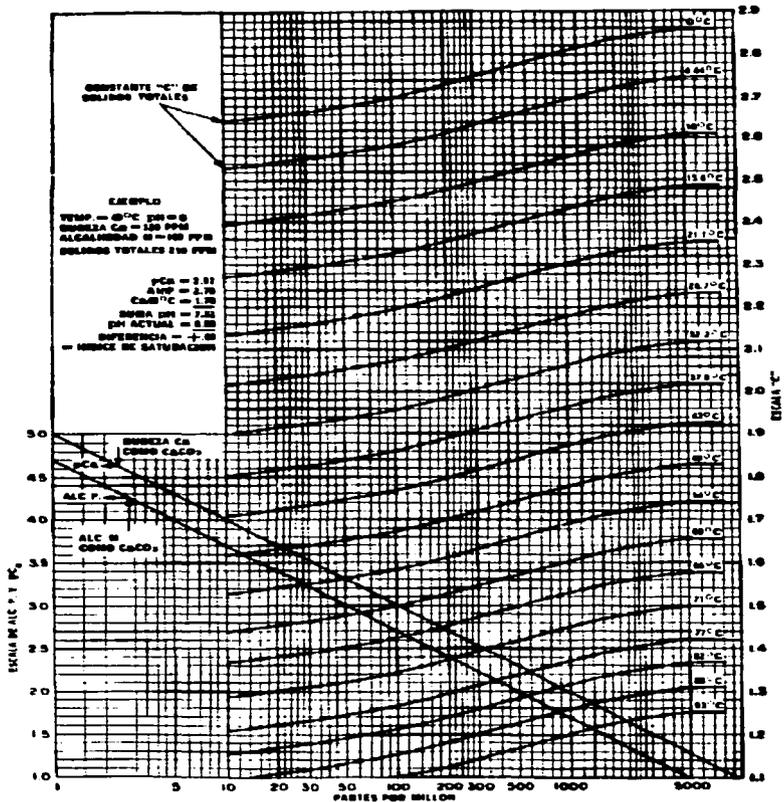


Fig. 1. Carta del índice de saturación Langlier.



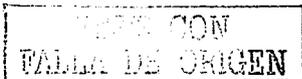
### **2.2.1 Cálculo del índice de saturación de Langelier utilizando otro método.**

El índice de Langelier (o índice de saturación de carbonato de calcio), es el valor que puede predecir las tendencias a la incrustación del agua de enfriamiento. Para el índice es necesario conocer lo siguiente:

- 1) La alcalinidad al anaranjado de metilo.
- 2) Dureza de calcio.
- 3) Sólidos totales (aproximados).
- 4) pH.
- 5) La temperatura a la que el agua se elevará.

Con estos datos y con la ayuda del Cuadro 2.5, es posible calcular el índice y predecir las tendencias del agua de enfriamiento. Los valores de este cuadro fueron diseñados para el uso de individuos sin preparación técnica y es simple, rápida y exacta para los usos prácticos.

Al calcular el índice de saturación de Langelier, es necesario hacer uso del sentido común y de la práctica, ya que los resultados calculados no son cuantitativos ya que el agua de enfriamiento pasa por los equipos bastante aprisa, no hay seguridad de que se llegue al equilibrio calculado, aun cuando se calculara éste con suma exactitud. En la practica lo que se hace es usar el índice para el cálculo de los tratamientos requeridos.



**Cuadro 2.5** (Basado en la formula de Langelier)

Sólidos totales (ppm)	A
50-300	0.1
400-1000	0.2

Temperatura (°F)	B
32-34	2.6
36-42	2.5
44-48	2.4
50-56	2.3
58-62	2.2
64-70	2.1
72-80	2.0
82-88	1.9
90-98	1.8
100-110	1.7
112-122	1.6
124-132	1.5
134-146	1.4
148-160	1.3
162-178	1.2

Dureza de calcio (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	C
10-11	0.6
12-13	0.7
14-17	0.8
18-22	0.9
23-27	1.0
28-34	1.1
35-43	1.2
44-55	1.3
56-69	1.4
70-87	1.5
88-110	1.6
111-138	1.7
139-174	1.8
175-220	1.9
230-270	2.0
280-340	2.1
350-430	2.2
440-550	2.3
560-690	2.4
700-870	2.5
880-1000	2.6

Alcalinidad A.M. (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	D
10-11	1.0
12-13	1.1
14-17	1.2
18-22	1.3
23-27	1.4
28-35	1.5
36-44	1.6
45-55	1.7
56-69	1.8
70-88	1.9
89-110	2.0
111-139	2.1
140-176	2.2
177-220	2.3
230-270	2.4
280-350	2.5
360-440	2.6
450-550	2.7
560-690	2.8
700-880	2.9
800-1000	3.0

TRABAJA CON  
PALETA DE LINGEN

Los valores del **Cuadro 2.5** se utiliza de la siguiente forma:

- Primero obtener los valores de A, B, C y D del cuadro anterior.
- Segundo obtener el  $pH_s$  mediante la siguiente formula:  
$$pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D)$$
- Tercero obtener el índice de saturación con la siguiente formula:  
índice de saturación = pH (actual) -  $pH_s$

Se utilizara los datos del ejemplo 1, para indicar como se utiliza el Cuadro 2.5

Y de este mismo cuadro se obtendrán los valores de A, B, C, y D.

	AGUA DE REPUESTO	AGUA DE CIRCULACION
Temperatura °C	26.7	60
Dureza de calcio, como $CaCO_3$ (ppm).	80	102
Alcalinidad M, como $CaCO_3$ (ppm).	196	255
Sólidos totales (ppm).	392	510
pH	7.5	8.0

Cuadro 2.3

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**Agua de repuesto:**

Sólidos totales = 392 ppm.

Por lo tanto el valor correspondiente es **A = 0.1**

T = 26.7°C hay que convertir a °F

$$^{\circ}\text{F} = 1.8 (^{\circ}\text{C}) + 32$$

$$^{\circ}\text{F} = 1.8 (26.7) + 32$$

$$^{\circ}\text{F} = 80.0$$

Por lo tanto **B = 2.0**

Dureza de Calcio, como  $\text{CaCO}_3 = 80$  ppm. del Cuadro 2.5 se tiene el siguiente valor:  
**C = 1.5**

Alcalinidad M, como  $\text{CaCO}_3 = 196$  ppm. del Cuadro 2.5 se tiene el siguiente valor:  
**D = 2.3**

Los valores obtenidos, se encuentran subrayados en el Cuadro 2.5, con estos valores se obtendrán el  $\text{pH}_s$  y el  $I_s$ .

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

$$\text{pH}_s = ( 9.3 + 0.1 + 2 ) - ( 1.5 + 2.3 )$$

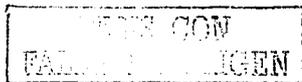
$$\text{pH}_s = 7.6$$

$$I_s = \text{pH( actual )} - \text{pH}_s$$

$$I_s = 7.5 - 7.6$$

$$I_s = - 0.1$$

En el siguiente cuadro se dan los resultados en base al Cuadro 2.5, del agua circulante y del agua de repuesto.



	AGUA DE REPUESTO	AGUA CIRCULANTE
<b>A</b>	0.1	0.2
<b>B</b>	2.0	1.4
<b>C</b>	1.5	1.6
<b>D</b>	2.3	2.4
<b>pH<sub>s</sub></b>	7.6	6.9
<b>I<sub>s</sub></b>	-0.1(ligeramente corrosiva)	1.1(incrustante)

Cuadro 2.6

Para este caso tenemos los siguientes resultados:

- Si el índice es cero, el agua esta químicamente balanceada.
- Si el índice es positivo, es agua incrustante.
- Si el índice es negativo, es agua corrosiva

Al comparar los resultados de los cuadros 2.4 y 2.6, podemos observar que los valores son muy semejantes tanto para el agua de repuesto como para el agua circulante, utilizando tanto la carta del índice de saturación de Langelier como el Cuadro 2.5.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **2.3 Compuestos Químicos utilizados en una torre de enfriamiento.**

Independientemente de la calidad del agua, los tratamientos protectores se emplean casi universalmente como una seguridad contra corrosión, incrustaciones, control microbiológico, depósito de fangos y otras fuentes potenciales de dificultades. El tipo y calidad de los productos químicos usados para el tratamiento del agua, deberán ser determinados por un estudio cuidadoso.

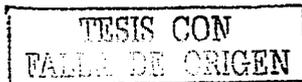
A continuación se describen 4 formas posibles de cómo prevenir los problemas causados en una torre de enfriamiento.

#### **2.3.1 Control de la Corrosión.**

La causa principal del fenómeno de corrosión en estos sistemas, es la cantidad de oxígeno disuelto en el agua de recirculación, debido a que el agua está en contacto directo con el aire, constantemente se esta saturando de oxígeno, por lo que sería incoesteable usar productos barredores de oxígeno razón por la cual se utilizan inhibidores de corrosión cuya función es evitar el contacto entre el electrolito (agua) y el metal del sistema mediante la formación de una película.

Para el control de corrosión existen dos caminos:

- Cambio del metal.
- Cambio del ambiente.



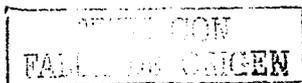
- La primera opción, además del inconveniente del alto costo, son materiales que están propensos a fallas por algún tipo de corrosión localizada como lo es la corrosión por esfuerzos.
- La segunda opción es un método muy utilizado en la practica para prevenir la corrosión, para lograr cambios en el ambiente corrosivo se hace uso de los inhibidores de corrosión. Estos pueden clasificarse en dos grupos de acuerdo a su mecanismo de acción y son los siguientes:

**Inhibidores anódicos:** También llamados pasivadores, son los mejores inhibidores de corrosión ya que promueven la formación de una película de óxido en la superficie del metal, la cual aísla el contacto entre éste y el ambiente corrosivo. Todos estos inhibidores son oxidantes y promueven la pasivación aumentando el potencial oxido reducción del hierro.

Ejemplo de estos inhibidores son los cromatos, nitritos, molibdatos y ortofosfatos.

**Inhibidores catódicos:** También llamados inhibidores de precipitación, estos compuestos inhiben la corrosión precipitando de manera controlada, los compuestos oxidados depositándose así la película protectora sobre la superficie del metal.

Ejemplo de estos son el zinc, ortofosfatos, polifosfatos, etc. Los cuales forman películas protectoras al precipitar como hidróxido de zinc, fosfato de zinc etc.



Los inhibidores son sustancias que forman películas protectoras, y por consiguiente, inhiben la transferencia de electrones y la difusión de reactivos como el  $H_2O$ ,  $H^+$  y  $O_2$ . La estructura de la película y el grado relativo de cobertura de la superficie son elementos controlantes.

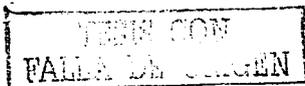
La selección de los inhibidores se realiza atendiendo el tipo de instalación, por ejemplo: los elementos estructurales de construcción, las variables de diseño y la calidad del agua de suministro.

Es raro cuando se utiliza un solo inhibidor de la corrosión; en general se mezclan dos o más inhibidores completando sus ventajas individuales y superando las limitaciones respectivas. La mejor protección del sistema se consigue combinando un inhibidor catódico con un anódico. Algunas veces se combinan dos inhibidores catódicos, pero muy raramente dos anódicos.

### **1. Cromatos**

Son inhibidores anódicos que forman una película de óxidos férrico y crómico, de composición similar a la que se forma en el acero inoxidable y es muy estable.

Los iones cloruro y en menor medida los iones sulfato, pueden penetrar la barrera; en su presencia por lo que es conveniente aumentar la dosificación de cromatos, y actúan mejor en aguas alcalinas.



Los tratamientos iniciales con cromatos eran caros por que usaban dosis muy elevadas, de 200 a 300 ppm de cromato sódico, se aplican combinados combinados con la adición de algo de ácido para mantener el pH entre 6 y 7 y evitar la precipitación de carbonato cálcico.

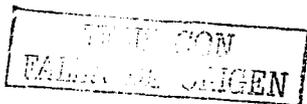
Se conseguía inhibir con efectividad la corrosión y la formación de incrustaciones, pero había que controlar que el cromato residual no llegase a mínimos para evitar la corrosión por picaduras, por lo que no es común su aplicación.

## **2. Zinc**

Las sales de zinc han sido muy utilizadas como inhibidores catódicos pero han sido sustituidos por su toxicidad. Forman una película protectora muy rápido, pero al ser poco estable requiere normalmente una mezcla con otros inhibidores de efecto más duradero. No puede usarse con aguas alcalinas puesto que precipita a pH superior a 8, por lo que debe estar entre 7 y 8 para conseguir un funcionamiento satisfactorio.

## **3. Polifosfatos**

El polifosfato es un inhibidor catódico que forma películas estables sobre las superficies catiónicas de la mayoría de los metales. Tiene la ventaja de ser un buen estabilizador de depósitos.



El principal problema de los polifosfatos es que a altas temperaturas, o a pH alto o bajo, se hidrolizan liberando moléculas simples de ortofosfato.

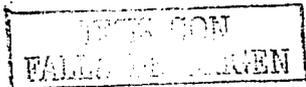
El ortofosfato es un inhibidor anódico de menor capacidad protectora y que en ciertas situaciones puede reaccionar con calcio formando un fango, capaz de acelerar la corrosión por formación de células de oxigenación diferenciada.

Los polifosfatos se empezaron utilizar con dosis altas de 20 a 40 ppm con las que se presentaban problemas de conversión a ortofosfatos y formación de fangos. La estabilidad óptima con materiales ferrosos se obtiene con pH de 6 a 7. La combinación con el zinc reduce las dosificaciones de ambos, dando el zinc la protección rápida y el polifosfato la acción duradera.

#### **4. Nitritos**

Son inhibidores anódicos que inducen al metal a formar su propia película protectora. La concentración de nitritos debe mantenerse elevada en presencia de cloruros y sulfatos, con la finalidad de evitar la penetración de estos últimos en la película protectora formada.

Los nitritos tienen además la capacidad para pasivar superficies oxidadas de hierro y de limpiar las superficies ferrosas.



Además del hierro inhiben la corrosión del aluminio y el estaño a pH de 9 a 10; que suele lograrse incluyendo boratos en la formulación.

Los nitritos se utilizan en circuitos cerrados además de los boratos, se añade algún biocida, que no sea cloro ya que lo oxidaría, para evitar su destrucción por las bacterias nitrificantes.

### **7. Silicatos**

El silicato sódico se hidroliza en el agua en forma de partículas coloidales de carga negativa que forman una película sobre la zona anódica. Solamente la forma polimérica da protección, con un control óptimo de inhibición de pH de 8 a 9. Solos o asociados con polifosfatos dan buenos resultados en la protección de sistemas de aguas potables. También se usan en los circuitos abiertos, con aguas agresivas, una dosis de 8 a 20 ppm forman buenas películas protectoras.

### **8. Fosfatos**

Son compuestos orgánicos fosforados de comportamiento similar al de los polifosfatos, con menor capacidad inhibidora de la corrosión pero son mejores controladores de los depósitos de fangos y no se hidrolizan tan fácilmente.

Atacan al cobre y sus aleaciones, excepto si se han mezclado con zinc, polifosfato u otros inhibidores específicos de la corrosión del cobre.



### **2.3.2 Prevención de incrustaciones y depósitos de fangos**

Para evitar las incrustaciones uno de los tratamientos más antiguos es la adición de ácido. El ácido neutraliza la alcalinidad del agua y evita la precipitación de carbonato.

El ácido sulfúrico es el más usado por su disponibilidad y precio. La solubilidad del sulfato cálcico es muy superior a la de carbonato y normalmente no precipita; sin embargo una adición excesiva de ácido o la operación a concentraciones excesivas, pueden provocar la formación de una incrustación de sulfato cálcico.

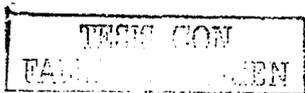
Aunque se pueden usar otros ácidos hay que usarlos con precaución por ejemplo:

El ácido clorhídrico añade iones cloruro que son muy corrosivos.

El ácido nítrico es un oxidante fuerte que puede causar corrosiones.

Los programas modernos de tratamiento, han eliminado la adición de ácido, el pH se deja subir a 9 y se controla la incrustación mediante la adición de agentes de control poliméricos.

Para prevenir la formación de depósitos se emplean los siguientes métodos de control químico que se indican a continuación:



- **Dispersantes**

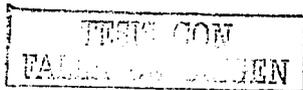
Son polímeros que pueden ser absorbidos sobre la superficie de los materiales del depósito aportando cargas eléctricas del mismo signo, en general negativas, y por lo tanto aumentan la capacidad de repulsión entre partículas que permanecen en suspensión. El peso molecular de los polímeros ha de ser bajo para no formar puentes de unión que contrariamente a lo pretendido harían aumentar el tamaño de la molécula. En general serán polímeros aniónicos, cuyos grupos funcionales han de ser ácidos carboxílicos o ácidos sulfónicos.

Los agentes dispersantes más antiguos eran productos orgánicos naturales, ejemplo: almidón ó celulosa modificados para incluir el grupo carboxílico. Pero el almidón y la celulosa son nutrientes para el crecimiento bacteriológico y pueden formar depósitos gomosos.

El desarrollo de los polímeros sintéticos representó un importante avance al evitar estos problemas secundarios.

- **Quefantes y Secuestrantes**

Ambos son agentes que evitan el comportamiento normal de algunos iones al formar con ellos un complejo.



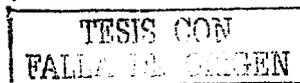
Los quelantes reaccionan estequiométricamente, mientras que los secuestrantes pueden funcionar a niveles muchos más bajos. Pueden controlar un gran número de cationes, entre ellos el calcio, el magnesio, el hierro, el manganeso y el aluminio. Pueden incluso solubilizar los depósitos y ser empleados en la limpieza del sistema excepto en los casos extremos que requieren una limpieza ácida.

### **2.3.3 Prevención de Control Microbiológico**

Los productos químicos utilizados para tratar el agua de enfriamiento para controlar la acción microbiana se emplean agentes microbiocidas, clasificados en dos grandes grupos:

Agentes biocidas oxidantes

Agentes biocidas no oxidantes



El programa de actuación con biocidas es muy particular para cada instalación y debe estar basado en ensayos de cultivo y sensibilidad a los agentes biocidas. y es importante considerar, la toxicidad para el medio ambiente.

Los microorganismos son capaces de desarrollar formas resistentes a un medio determinado, de forma que es preciso revisar periódicamente el programa utilizado.

Dada la gran variedad de especies de microorganismos es difícil que un tipo de biocida pueda actuar sobre todas las especies y se recurre a combinaciones que

demuestran un efecto sinérgico. A menudo se recurre combinar un biocida altamente efectivo pero caro, con otro de amplio espectro y menos caro, que haga razonable el costo del programa.

- **Agentes biocidas oxidantes**

El biocida más importante es el cloro. El consumo de cloro de un sistema de enfriamiento depende del: pH, la temperatura del agua, el volumen a tratar, las pérdidas por paso al aire y el consumo de cloro. Este consumo es la cantidad que reacciona con los contaminantes antes que quede cloro libre sin reaccionar.

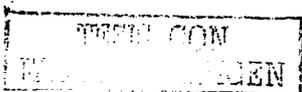
El ácido hipocloroso que se forma al reaccionar el agua con el cloro, es el determinante de la eficacia biocida.



El ácido hipocloroso se ioniza parcialmente en función del pH según la siguiente reacción:



La forma ionizada no es biocida, de ahí que a un pH de 5 la acción del cloro es muy eficaz, pero va disminuyendo al aumentar el pH, de forma que a pH de 10 se anula la capacidad microbicida.



Se considera importante trabajar a un pH de 6.5 a 7, en que la fracción de ácido hipocloroso es aún importante y no hay problemas de corrosión del pH bajo.

Los programa modernos trabajan bien a pH alcalino, lo cual crea cierta incompatibilidad con el uso de cloro residual de 0.2 ppm para asegurar la acción biocida, a pH de 9 serán convenientes alrededor de 0.6 ppm.

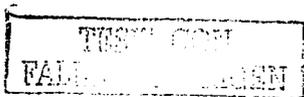
- **Agentes biocidas no oxidantes**

Empleados solos, han demostrado tener en algunos tratamientos un carácter biocida superior al de los oxidantes. En muchos programas se emplean combinados para lograr una actividad más amplia.

El pentaclorofenato y otros fenoles son los compuestos más comunes, solos o mezclados con ciertos tensoactivos aniónicos para aumentar la efectividad biocida.

Los compuestos organosulfurados funcionan por mecanismo competitivo al captar el hierro que las células necesitan para su actividad respiratoria.

El metileno-bistiocianato inhibe el crecimiento de algas, hongos y bacterias, pero es especialmente útil para atacar las especies sulfato reductoras desulfobrio, no es muy soluble en agua y se formula con dispersantes. y suele hidrolizarse rápidamente a pH arriba de 8.



## **CAPITULO 3 EVALUACION DE LOS COMPUESTOS QUIMICOS.**

### **3.1 Pruebas de laboratorio realizadas a los compuestos quimicos.**

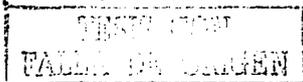
Uno de los objetivos principales de toda empresa es suministrar productos y servicios de calidad que satisfagan las necesidades y expectativas de sus clientes y con ello aumentar la productividad, eficiencia y competitividad de su organización.

Para alcanzar dicho objetivo las organizaciones fijan y adoptan las normas o especificaciones apropiadas para sus productos, pero la competencia global ha conducido a que cada vez sean más estrictas las expectativas de los clientes con respecto a la calidad.

Los sistemas de Gestión de la Calidad (SGC), basados en las familias de normas ISO-9000 tienen ya una aceptación internacional, aumentando las posibilidades tecnológicas y comerciales de las empresas y en consecuencia los beneficios económicos.

Es evidente que la efectividad de un sistema de gestión de calidad dependerá hasta cierto punto de que tan buena sea la documentación del sistema.

Es por ello que al realizar las pruebas de los productos químicos se llevaran a cabo con sumo cuidado, cumpliendo con las normas ISO-9000 y así aumentar la



satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de calidad de los productos ofrecidos por la compañía.

Las especificaciones para cada producto se darán más adelante en hojas de control de análisis.

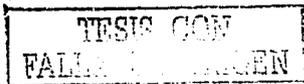
### **3.1.1 Seguimiento y Medición del Producto.**

- El laboratorio de Control de Calidad, debe encargarse de medir y hacer un seguimiento de las determinaciones de los productos químicos, para verificar que cumpla y reúna con los requisitos del mismo.
- Debe mantenerse evidencia de la conformidad de acuerdo con las especificaciones marcadas para cada producto.

Los registros deben indicar las personas que autorizan la liberación del producto.

### **3.1.2 Control de Producto no conforme.**

El laboratorio de Control de Calidad debe asegurar de que el producto que no cumpla con las especificaciones, se identifique y controle, para que se prevenga el uso de este.



Si por alguna razón se autoriza este producto, debe firmar una responsiva la persona que autoriza la salida del producto, para que se respalde el departamento de Control de Calidad.

El laboratorio de Control de Calidad debe tratar los productos no conformes mediante las siguientes acciones:

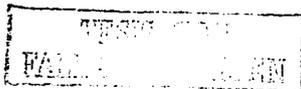
a) Tomar acciones para eliminar la no conformidad detectada.

b) Autorizando su uso, liberación o aceptación bajo concesión por una autoridad pertinente, y cuando sea aplicable por el cliente.

- Se deben de archivar los registros de las no conformidades y de cualquier acción tomada posteriormente.
- Cuando un producto de no conformidad se corrige, debe nuevamente ser analizado para demostrar que se encuentra dentro de sus especificaciones.
- Cuando se detecta un producto no conforme después de la entrega o cuando ha comenzado su uso, la persona encargada debe tomar las acciones apropiadas respecto a los efectos de la no conformidad.

### **3.1.3 Calibración del material de laboratorio**

De acuerdo a la Ley Federal de Metrología y Normalización, se tienen las siguientes definiciones:



**Calibración:** es el conjunto de operaciones que tiene por finalidad determinar los errores de un instrumento para medir y, de ser necesario, otras características metrológicas.

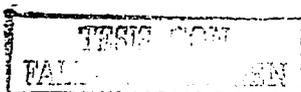
**Certificación:** Procedimiento por el cual se asegura que un producto, proceso, sistema o servicio se ajusta a las normas, lineamientos o recomendaciones de organismos dedicados a la normalización nacionales e internacionales.

**Instrumento para medir:** Son los medios técnicos con los cuales se efectúan las mediciones y comprenden las medidas materializadas y los aparatos medidores.

**Medir:** el acto de determinar el valor de una longitud.

El laboratorio de control de calidad debe establecer procesos para asegurarse de que el seguimiento y medición se realiza correctamente y cumple con los requisitos de seguimiento y medición. También debe asegurarse de la validez de los resultados, el equipo de medición debe de cumplir con lo siguiente de acuerdo a la norma ISO-9001/2000.

- A) calibrarse o verificarse a intervalos especificados o antes de su utilización, comparado con patrones de medición trazables o patrones de medición nacionales o internacionales, cuando no existan tales patrones debe registrarse la base utilizada para la calibración o la verificación.
- B) Ajustarse o reajustarse según sea necesario.
- C) Identificarse para poder determinar el estado de calibración.



D) Protegerse contra ajustes que pudieran invalidar el resultado de la medición.

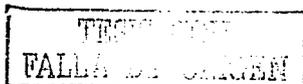
E) Protegerse contra los daños y el deterioro durante la manipulación, el mantenimiento y el almacenamiento.

A continuación se presenta una lista de material y reactivos de laboratorio más utilizados en el Departamento de Control de Calidad de la Empresa.

<b>Equipo y Soluciones</b>	<b>Determinación</b>
Balanza analítica	Masa
Balanza granataria	Masa
Potenciómetro	Acidez y Alcalinidad
Conductímetro	Conductividad eléctrica
Matraz aforado	Volumen
Matraz erlenmeyer	Volumen
Buretas	Volumen
Pipetas graduadas	Volumen
Vasos de precipitados	Volumen
Soluciones de $\text{H}_2\text{SO}_4 \cong 0.1\text{N}$	Alcalinidad libre y total
Soluciones de $\text{NaOH} \cong 1\text{N}$	Acidez libre y total

Cuadro 3.1

Las soluciones de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.1N y  $\text{NaOH}$  1N, estas son preparadas en el laboratorio. con reactivos Q.P., estas soluciones son utilizadas consecutivamente sin que sean



valoradas al inicio del trabajo experimental, por lo que es recomendable establecer en el sistema de calidad a la valoración sistemática con la finalidad de que al realizar los cálculos no arrastremos errores.

Todo equipo de calibración debe tener un documento que compruebe que se encuentran dentro de la cadena de trazabilidad.

Cuando se realiza la calibración del equipo de laboratorio, por medio de una compañía externa, es indispensable que los resultados obtenidos se presenten sobre el instrumento, mediante una etiqueta que contenga lo siguiente información:

Identificación del instrumento (nombre, marca y modelo), persona o compañía que realice la calibración, fecha de calibración y fecha que deberá calibrarse nuevamente.

### **3.1.4 Técnicas de análisis del producto terminado.**

Dentro de las determinaciones realizadas en los diferentes laboratorios de control de calidad, una de las condiciones más importantes para la exactitud de los resultados obtenidos, es que los métodos para las técnicas que se utilicen en las determinaciones y/o pruebas, sean ejecutadas de la misma forma por todo el personal que haga uso de las mismas.

En la medida en que se estandaricen los métodos o los procedimientos de análisis, se presentara una variabilidad menor en los resultados obtenidos, ya que la técnica

utilizada será la misma para todos, y ésta deberá ser realizada por el personal involucrado.

A continuación se presentan los métodos de análisis rutinario utilizados por el Departamento de Control de Calidad de la Compañía, hay que aclarar que estos métodos no están apegados a una norma específica.

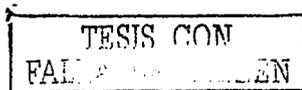
#### **A) Determinación de alcalinidad libre y de alcalinidad total**

##### **A) Equipo**

- 1 Pipeta volumétrica de 5 ml.
- 3 Matraces erlenmeyer de 250 ml.
- 1 Bureta semiautomática.
- 1 Piceta.

##### **B) Reactivos**

- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ≅ 0.1 N.
- Fenolftaleína.
- Anaranjado de Metilo.
- Agua destilada.



- ❖ Tomar una muestra de 1 ml. con la pipeta volumétrica y verter el volumen dentro de un matraz erlenmeyer de 250 ml.
- ❖ Adicionar agua destilada hasta nivel cómodo (20 ml) y agitar.

- ❖ Adicionar de 3 a 5 gotas de indicador de fenolftaleína al matraz y titular con ácido sulfúrico  $\cong 0.1$  N.
- ❖ Detener la titulación hasta que la solución vire de color violeta a incoloro, anotando el volumen gastado en mililitros de ácido sulfúrico el resultado será equivalente a los puntos de alcalinidad libre.
- ❖ Posteriormente se adiciona de 3 a 5 gotas de indicador anaranjado de metilo a la solución y se sigue titulado con ácido sulfúrico  $\cong 0.1$  N hasta que la solución vire de color amarillo paja a rosa.
- ❖ Anotar el volumen total de mililitros gastados de ácido sulfúrico  $\cong 0.1$  N, el resultado será equivalente a los puntos de alcalinidad total.

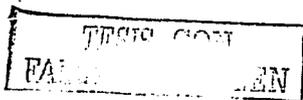
## **B) Determinación de acidez libre y de acidez total**

### A) Equipo

- 1 Pipeta volumétrica de 5 ml.
- 3 Matraces erlenmeyer de 250 ml.
- 1 Bureta semiautomática.
- 1 Piceta.

### B) Reactivos

- NaOH  $\cong 1$  N.
- Fenolftaleína.
- Anaranjado de Metilo.
- Agua destilada.



- ❖ Tomar una muestra de 1 ml. con la pipeta volumétrica y verter el volumen dentro de un matraz erlenmeyer de 250 ml.
- ❖ Adicionar agua destilada hasta nivel cómodo (20 ml) y agitar.
- ❖ Adicionar de 3 a 5 gotas de indicador de anaranjado de metilo al matraz y titular con hidróxido de sodio  $\approx 1$  N.
- ❖ Detener la titulación hasta que la solución vire de color rojo a amarillo paja, anotando el volumen gastado en mililitros de hidróxido de sodio el resultado será equivalente a los puntos de acidez libre.
- ❖ Posteriormente se adiciona de 3 a 5 gotas de indicador fenolftaleína a la solución y se sigue titulando con hidróxido de sodio  $\approx 1$  N hasta que la solución vire de color amarillo paja a rojo.
- ❖ Anotar el volumen total de mililitros gastados de hidróxido de sodio  $\approx 1$  N, el resultado será equivalente a los puntos de acidez total.

### C) pH al 1 % y pH concentrado

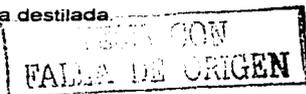
#### A) Equipo

- 1 Pipeta volumétrica de 5 ml.
- 1 matraz aforado de 100 ml.
- 1 Vaso de precipitados de 250 ml.
- 1 Potenciómetro.

#### B) Reactivos

Soluciones buffer con pH 4,7 y 10.

Agua destilada.



- ❖ Tomar 1 mililitro de muestra con la pipeta volumétrica.
- ❖ Colocar la muestra en un matraz aforado y agregar agua destilada hasta la marca de aforo para que la solución quede al 1%.
- ❖ Agitar hasta obtener una mezcla homogénea y vaciarlo en un vaso de precipitados.
- ❖ Calibrar el potenciómetro con las soluciones buffer.
- ❖ Introducir el electrodo en la muestra que se va a determinar el pH.
- ❖ Tomar la lectura que esta en la pantalla del potenciómetro después de que se halla estabilizado.

Nota: para el pH concentrado se introduce el electrodo en la muestra directamente.

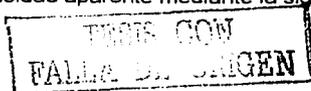
#### **D) Determinación de densidad aparente**

##### **A) Equipo**

Balanza granataría.

Matraz aforado de 100 ml.

- ❖ Pesar el matraz aforado vacío en la balanza granataría ( $W_1$ ).
- ❖ Pesar el matraz aforado con la muestra a la cual se le va a determinar la densidad ( $W_2$ ).
- ❖ Calcular la densidad aparente mediante la siguiente formula.



$$\text{Dens. Apa.} = \frac{W_2 - W_1}{V}$$

De donde:

Dens. Apa. = densidad aparente.

$W_1$  = peso del matraz aforado vacío.

$W_2$  = peso del matraz aforado con la muestra.

$V$  = volumen del matraz aforado.

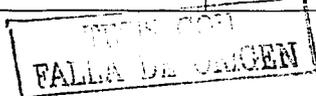
### 3.2 Información técnica de los productos químicos.

Los fabricantes prestigiados de estas preparaciones informan al comprador de los ingredientes, a fin de que su utilidad pueda ser evaluada. El precio de los productos químicos combinados es usualmente más alto. Sin embargo, algunos comerciantes ofrecen productos fraudulentos e inefectivos. En la mayoría de los casos, el tratamiento es aplicado por los operadores experimentados y capaces, y se encuentra regulado mediante análisis del agua de abastecimiento tratada.

Antes de la información técnica, se presenta a la clasificación de las funciones de algunos compuestos químicos.

Tratamiento correctivo requerido.	Tipo compuesto químico.
Mantenimiento de pH, dureza y alcalinidad del agua para control de incrustaciones y corrosión.	Sosa cáustica, carbonato de sodio, ácido sulfúrico y fosfatos.
Acondicionamiento de los todos para prevenir adherencias.	Taninos, derivados de la lignina, almidón y derivados de la glucosa.
Prevención de incrustaciones.	Polifosfatos, taninos, derivados de lignina, y derivados de glucosa.
Prevención de corrosión.	Sulfitos, taninos, hidróxido ferroso, derivados de glucosa, hidracina y taninos.

Cuadro 3.2



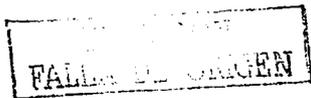
### **3.2.1 Dispersante**

Es un polielectrolito polimérico que opera como dispersante en el agua de enfriamiento, asegurando superficies metálicas libres de depósitos y ensuciamiento por materias que pueden prevenir la deposición de sales insolubles, el crecimiento microbiológico, hongos y óxidos metálicos. El funcionamiento de este producto está basado en los fenómenos de absorción y carga de electrostática o repelerse entre sí evitando su tendencia a depositarse, sobre todo en áreas de mayor transferencia de calor.

Para complementar su acción dispersante, el producto contiene efectivos secuestrantes, que le proporcionan características de ablandamiento y control de las sales provenientes de la dureza, que son las de mayor probabilidad en la formación de incrustaciones en los equipos.

### **Dosificación**

El nivel de tratamiento con este producto, depende del tipo de agua y de las condiciones presentes en las torres de enfriamiento, ya sea con excesiva población microbiana, formación de depósitos o incrustaciones, por lo que la dosificación varía de 20 a 50 ppm. en función de lo anterior el producto debe dosificarse en forma continua.



A continuación se muestra la hoja de control de análisis para cada producto, la cual utiliza el Laboratorio de Control de Calidad para llevar un control de los productos químicos y de cada lote que se produce en la compañía.

CONTROL DE ANALISIS		
PRODUCTO: <b>DESINCRUSTANTE</b>		CODIGO: PTDES01
	Fecha de análisis	23-02-03
	Cantidad	400 kg.
	Lote	3022378
<b>DETERMINACION</b>	<b>ESPECIFICACION DEL PRODUCTO</b>	<b>RESULTADOS DEL PRODUCTO</b>
Apariencia.	Líquido	Líquido
Color	Amarillo paja	Amarillo paja
Alcalinidad libre en ml. de H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> ≈ 0.1N.	0.0	0.0
Alcalinidad total en ml. de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ≈ 0.1N.	2.0 – 2.5	2.1
pH solución 1%	4.5 – 5.0	4.91
pH concentrado	4.0 – 4.3	4.20
Densidad g/ml.	1.0 +/- 0.1	1.054
Verifico		M.S.E.
Disposición	Conforme	Conforme
	No conforme	*N/A

\*No aplica

TRABAJO CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.2.2 Biocida.

Este producto es elaborado a base de clorofenoles, cuaternarios de amonio y otros fenoles activos que le permiten funcionar como un agente biocida de amplio espectro; para controlar un amplia gama de microorganismos del tipo de algas, hongos y bacterias en sistemas de recirculación de agua de enfriamiento.

#### Dosificación

Dependiendo de la severidad del problema deberá dosificarse de 20 a 100 ppm, en base al volumen de agua del sistema. Puede dosificarse diario, una o dos veces por semana o tres veces por mes, si el ataque microbiológico no es severo.

CONTROL DE ANALISIS		
PRODUCTO: <b>BIOCIDA</b>		CODIGO: PTBIO02
	Fecha de análisis	25-02-03
	Cantidad	300 kg.
	Lote	3022578
<b>DETERMINACION</b>	<b>ESPECIFICACION DEL PRODUCTO</b>	<b>RESULTADOS DEL PRODUCTO</b>
Apariencia.	Líquido	Líquido
Color	Amarillo paja	Amarillo paja
pH solución 1%	7.5 - 8.0	7.54
pH concentrado	7.0 - 7.5	7.32
Densidad g/ml.	1.0+ 0.1	1.004
Verifico		M.S.E.
Disposición	Conforme	Conforme
	No conforme	*N/A

\*No aplica

TEST  
FALLA DE CARGEN

### 3.2.3 BACTERICIDA

Es un producto hecho a base de una mezcla balanceada de agentes donadores de cloro activo para trabajar en forma ácida, neutra o alcalina, es un producto orgánico que evita la descomposición por los rayos ultravioleta y por consiguiente un menor consumo en los tratamientos.

#### Dosificación

Este producto se dosificara según las características del agua del sistema en que se aplica y de las formaciones microbiológicas contenidas, que pueden ser: bacterias, hongos y algas. El crecimiento de estos microorganismos depende de la temperatura, y de la acción de la luz.

La contaminación que se pudiera presentar en el nivel usual necesita dosificación del orden de 20 a 40 ppm. Buscando tener de 0.5 a 1.5 ppm, de cloro libre en el sistema recirculante.

CONTROL DE ANALISIS		
PRODUCTO: <b>BACTERICIDA</b>		CODIGO: PTBAC03
	Fecha de análisis	28-02-03
	Cantidad	300 kg.
	Lote	3022878
DETERMINACION	ESPECIFICACION DEL PRODUCTO	RESULTADOS DEL PRODUCTO
Apariencia.	Líquido	Líquido
Color	Amarillo paja	Amarillo paja
pH solución 1%	7.0 - 7.5	7.47
pH concentrado	7.5 - 8.0	7.61
Densidad g/ml.	1.0+ - 0.1	1.006
Verifico		M.S.E.
Disposición	Conforme	Conforme
	No conforme	N/A

TESIS N° 100  
FALLA DE ORIGEN

### 3.2.4 INHIBIDOR

Es un producto biodegradable, formulado a base de compuestos orgánicos. Esta diseñado para funcionar como inhibidor de corrosión y refrigerante en sistemas de agua de enfriamiento. El vehículo inhibidor de corrosión es una película de adsorción que protege las superficies metálicas contra el ataque de gases disueltos en el agua.

Este producto puede utilizarse sólo o combinado con inhibidores catiónicos, esto depende del tipo de sistema en que se va aplicar.

El nivel normal de uso está en el rango del 1 al 5%. El valor real se ajusta de acuerdo a los resultados de evaporación obtenidos de las pruebas de campo de cada sistema. Debe ser dosificado de preferencia en forma continua para mantener la película inhibidora.

CONTROL DE ANALISIS		
PRODUCTO: <b>INHIBIDOR</b>		CODIGO: PTINH04
	Fecha de análisis	11-02-03
	Cantidad	400 kg.
	Lote	3021178
DETERMINACION	ESPECIFICACION DEL PRODUCTO	RESULTADOS DEL PRODUCTO
Apariencia.	Líquido	Líquido
Color	Incoloro	Incoloro
Alcalinidad libre en ml. de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> = 0.1N	5.0 – 7.0	6.2
Alcalinidad total en ml. de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> = 0.1N	10.0 – 12.0	11.5
pH solución 1%	9.0 – 10.0	9.87
pH concentrado	9.5 – 11.0	10.47
Densidad g/ml.	1.0 +- 0.1	1.016
Verifico		M.S.E.
Disposición	Conforme	Conforme
	No conforme	N/A

TEXTOS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.2.5 DESINCRUSTANTE

Es un producto formulado a base de ácidos penetrantes e inhibidores de corrosión, su actividad esta diseñada especialmente como agentes de limpieza en diferentes tipos de sistema.

La aplicación de este producto depende de la severidad del problema en el sistema de enfriamiento ó equipo a tratar, se recomienda usar del 5 al 10% en función del volumen del agua con un tiempo de exposición de 10 a 15 horas, de tal manera que evite taponamientos y obstrucciones en la tubería de la incrustación desprendida. Después de la limpieza se recomienda una neutralización.

CONTROL DE ANALISIS		
PRODUCTO: <b>DESINCRUSTANTE</b>		CODIGO: PTDES05
	Fecha de análisis	23-02-03
	Cantidad	300 kg.
	Lote	3022378
DETERMINACION	ESPECIFICACION DEL PRODUCTO	RESULTADOS DEL PRODUCTO
Apariencia.	Líquido	Líquido
Color	Incoloro	Incoloro
Acidez libre en ml. de NaOH = 1N	5.0 - 7.0	6.4
Acidez total en ml. de NaOH = 1N	7.0 - 9.0	8.1
pH solución 1%	2.0 - 3.0	2.10
pH concentrado	1.0 - 2.0	1.55
Densidad g/ml.	1.0+- 0.1	0.997
Verifico		<b>M.S.E.</b>
Disposición	Conforme	Conforme
	Non conforme	N/A

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **3.3 Análisis del agua de la torre de enfriamiento.**

Para poder realizar un buen diagnóstico se llevan a cabo una serie de pasos, los cuales son de suma importancia para la persona que da el servicio a la plantas, en las que se van aplicar los productos de la compañía, ya que con los resultados obtenidos se podrá definir que es necesario para el agua de la torre de enfriamiento que circula en el proceso. A continuación se da una descripción de cada uno de los pasos.

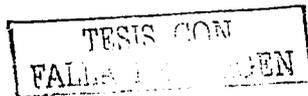
- **Exploraciones**

Las exploraciones de campo normalmente incluyen, la observación de las principales características de la fuente de abastecimiento del agua y el agua circulante en la torre de enfriamiento. También se observa si existe crecimiento de algas o sustancias flotantes de aspecto desagradable, hongos, lodos y otras propiedades desagradables a los sentidos del olfato y de la vista.

- **Muestreo**

El muestreo frecuente permite establecer los valores medios y su variación, así como el grado de fluctuación en la calidad del agua.

El muestreo bien dirigido es confiable y asegura la validez de los resultados analíticos, las muestras deberán entregarse al laboratorio y presentarse en recipientes de plástico identificados, indicando fecha de muestreo y nombre de la



planta industrial. Se deben de conservar durante 15 días en refrigeración por si hay alguna inconformidad por parte de la planta industrial. El primer recipiente debe ser del agua de abastecimiento y el segundo debe ser de la torre o torres de enfriamiento.

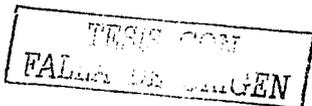
- **Análisis**

Los análisis de las muestras tomadas en el campo nos darán una idea más clara de la calidad y de las condiciones del agua del proceso en la planta.

El análisis y la exploración contribuirán a recomendar que clase de producto químico pueda adicionarse para las mejoras del proceso.

Al obtener los resultados del análisis, se elabora un reporte de servicio en el cual se dan al cliente los resultados obtenidos y las recomendaciones del suministro de los productos químicos, necesarios para mejorar la calidad del agua y evitar futuros problemas en las torres de enfriamiento.

A continuación se mostrara el reporte de servicio, con los resultados obtenidos de un análisis.





**3.4 Comparación de la técnica de análisis utilizada en el laboratorio de Control de Calidad de la compañía con el Proyecto de la Norma, Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales y residuales.**

De acuerdo al PROY-NMX-AA-36-1999-SCFI, se dan las siguientes definiciones.

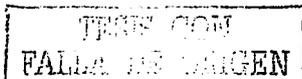
**Acidez total:** es la cantidad de iones hidronio en la muestra acuosa y se determina como la capacidad cuantitativa de una muestra de agua para reaccionar con una base fuerte.

**Alcalinidad total:** es la cantidad de iones hidroxilo, carbonatos, bicarbonatos y las distintas formas de fosfatos, presentes en la muestra acuosa y se determina como la capacidad cuantitativa de una muestra de agua para reaccionar con los iones hidronio.

En el cuadro siguiente se compara la técnica de análisis que la compañía ha estado realizando a lo largo de su trayecto, contra el Proyecto de la Norma de determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales y residuales.

PROY-NMX-AA-36-1999.SCFI	TÉCNICA DE ANÁLISIS
Valoración de disoluciones	No se hacen valoración de disoluciones
El agua con la que preparan las disoluciones es agua destilada.	También utilizan agua destilada.
Se recolectan, preservan y almacenan las muestras.	Es lo mismo.
Se determina la alcalinidad por el método de indicadores.	Utilizan el mismo método.

Cuadro 3.3



De acuerdo al cuadro anterior podemos decir que la técnica de análisis esta cumpliendo con la mayor parte de los puntos de la norma, aunque no se valoran las disoluciones.

### 3.4.1 Comparación de la técnica de análisis utilizada en el laboratorio de Control de Calidad de la compañía de dureza total contra la Norma de determinación de dureza-método del E.D.T.A.

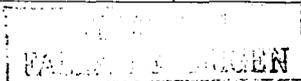
De acuerdo a la Norma NMX-AA-72-1981, se dan las siguientes definiciones.

**Dureza:** para efectos de esta norma se entiende por dureza a la concentración total de iones de calcio y magnesio expresada como su equivalente en  $\text{CaCO}_3$ , cuando se encuentran presentes en cantidades apreciables los iones de berilio, estroncio, bario y radio, quedan incluidos en dureza.

El cuadro siguiente es la comparación de la técnica de análisis que se esta llevando a cabo en el Laboratorio de Control de Calidad contra las sugerencias de la norma.

NMX-AA-72-1981	TÉCNICA DE ANALISIS
<b>Preparación de soluciones.</b> Solución amortiguadora.	La solución amortiguadora se prepara con los mismos reactivos, pero en diferentes cantidades.
Indicador negro de ericromo T.	Se prepara igual que en la norma.
Solución estándar de E.D.T.A.	Se prepara igual que en la norma
Se determina un factor $F = \frac{\text{mg de CaCO}_3 \text{ en la soln. Diluida}}{\text{Cm}^3 \text{ de soln. De E.D.T.A.}}$	Se fija con un valor de $F = 50$ .
En caso de interferencias en la muestra, se eliminan mediante oxidación preliminar y se utilizan inhibidores recomendados en la norma.	No se utilizan inhibidores en este método, solamente se filtra el agua que se va analizar.

Cuadro 3.4



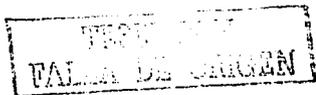
Como podemos notar la técnica de análisis que se utiliza, no esta cumpliendo completamente con la norma, por lo que es recomendable adaptar los métodos de análisis comprobando en primera instancia que las soluciones amortiguadoras tengan el mismo pH, que antes de la valoración se lleve la mezcla de reacción a pH de 10 y que el factor se calcule según la norma.

### **3.5 Técnicas de análisis del agua de las torres de enfriamiento.**

Las técnicas mostradas a continuación son las que se realizan en la compañía, y son aplicadas a las muestras de agua de las torres de enfriamiento. Se recomienda analizar rápidamente las muestras de agua y mantenerlas en refrigeración ya que sus propiedades cambian con la temperatura.

#### **A) Determinación de Dureza total**

- ❖ Tomar 20 mililitros de muestra de agua que se va analizar y colocarlos en un matraz erlenmeyer de 250 mililitros.
- ❖ Agregar 8 gotas de solución buffer para dureza total.
- ❖ Posteriormente agregar una pequeña porción de la mezcla del indicador de dureza total. La solución se pondrá de color morada si hay presencia de dureza.



- ❖ La muestra se titulara con solución de E.D.T.A., agitando constantemente hasta el momento en que cambie la solución de morada a azul, en este momento se habrá terminado la titulación.
- ❖ Para determinar la dureza total se aplica la siguiente formula.

*ppm. de Dureza total como  $\text{CaCO}_3$  = ml. de solución tituladora gastados  $\times$  (factor = 50)*

### **B) Determinación de Dureza de Calcio.**

- ❖ Tomar 20 mililitros de muestra de agua que se va analizar y colocarlos en un matraz erlenmeyer de 250 mililitros.
- ❖ Agregar 2 mililitros de NaOH 1N a la muestra.
- ❖ Posteriormente agregar una pequeña porción de indicador de dureza de calcio, la muestra tomara una coloración rosa.
- ❖ La muestra se titulara con solución de E.D.T.A., agitando constantemente hasta el momento en que cambie la solución de rosa a lila.
- ❖ Para determinar la dureza de calcio se aplicara la siguiente formula.

*ppm. de Dureza de Calcio como  $\text{CaCO}_3$  = ml. de solución tituladora gastados  $\times$  (factor = 50)*

### **C) Determinación de Alcalinidad F. y Alcalinidad M.**

- ❖ Tomar 20 mililitros de muestra de agua que se va analizar y colocarlos en un matraz erlenmeyer de 250 mililitros.



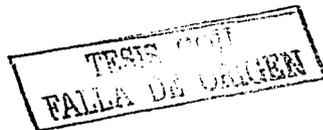
- ❖ Agregarle a la muestra de 3 a 5 gotas de indicador de fenolftaleína, la muestra tomara un color rojo.
- ❖ La muestra se titulara con ácido sulfúrico  $\cong 0.02N$ , y la titulación finalizara hasta que la solución sea incolora.
- ❖ El calculo de esta prueba se realizará con la siguiente formula:

*ppm. de alcalinidad F como  $CaCO_3$  = ml. de solución tituladora gastados  $\times$  (factor = 50)*

- ❖ A esa misma muestra de 3 a 5 de indicador anaranjado de metilo, la muestra tomará un color naranja.
- ❖ Titular la muestra con ácido sulfúrico  $0.02N$ , y detener la titulación cuando la muestra tome un color rojo.
- ❖ El calculo de esta prueba se realizará con la siguiente formula.

*ppm. de alcalinidad M como  $CaCO_3$  = ml. de solución tituladora gastados  $\times$  (factor = 50)*

Los resultados obtenidos del análisis se registraran en el formato LCC-01.





## **CAPITULO 4 MEJORA CONTINUA.**

### **4.1 Propuesta para mejorar el análisis del agua de la torre de enfriamiento.**

Para la elaboración de este trabajo se notaron algunas deficiencias en la exploración, muestreo y análisis, ya que no son suficientes para dar un diagnóstico y recomendación de la suministración de algún producto químico. Es por esta razón que sugiero un estudio más riguroso, tomando en cuenta que a la planta a la que se le va a prestar el servicio cuenta con varias torres de enfriamiento y las repercusiones por una mala recomendación podrían afectar el funcionamiento de la planta.

En este estudio riguroso es recomendable realizar al menos un monitoreo diario de las mediciones que se describirán más adelante y también tomar lecturas de pH y temperatura.

Por lo tanto se deberán asignar las siguientes responsabilidades:

1. Es responsabilidad del personal de laboratorio determinar con la periodicidad establecida los valores de pH, alcalinidad, dureza, sílice, sólidos totales disueltos, cloro residual, fosfatos, cloruros, turbiedad y fierro e informar diariamente de forma oportuna de los resultados obtenidos al personal de la planta para que estos últimos realicen las correcciones pertinentes.



2. Es responsabilidad del personal del laboratorio calcular y graficar diariamente el índice de incrustación promedio e informar los resultados
3. Es responsabilidad del personal de laboratorio verificar en campo que se este dosificando la cantidad establecida del inhibidor de corrosión y comunicar en forma inmediata y por escrito al personal de operación para que tome las medidas necesarias.
4. Es responsabilidad del personal de laboratorio calcular y graficar diariamente los ciclos de concentración promedio en base a la dureza total, para garantizar las cantidades adecuadas de agua de repuesto.
5. Es responsabilidad del laboratorio elaborar un informe mensual de control de corrosión e incrustación de cada sistema de enfriamiento y enviarlo a la Gerencia de Control de Producción.

A continuación se presentan los formatos del sistema de control que se lleva a cabo en el análisis del agua de la torre de enfriamiento.

#### **4.1.1 Control en las características del agua.**

El personal de laboratorio debe determinar los valores del pH, alcalinidad, dureza, sílice, sólidos totales disueltos, cloro residual, fosfonatos, cloruros y turbiedad, así como el contenido de hierro de acuerdo (formato LCC-001).



Y se elaboraran las graficas de control con los valores promedio diarios de pH (formato LCC-002), en el cual se debe marcar el rango ideal preestablecido.

#### **4.1.2 Control del inhibidor de corrosión.**

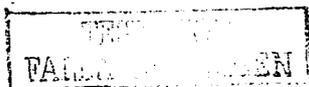
El encargado de laboratorio debe construir la curva de dosificación promedio de inhibidor correspondiente (formato LCC-003) indicando el rango ideal preestablecido según la calidad del agua de cada lugar y el tipo de tratamiento.

La dosificación del inhibidor de corrosión debe ser de forma inmediata y el ingeniero de inspección y seguridad debe verificar en campo que se esté dosificando la cantidad establecida.

#### **4.1.3 Control de temperatura.**

Siendo la temperatura un factor importante que influye en las velocidades de corrosión, el personal de Operación debe medir y registrar diariamente por turno este valor en el agua de retorno a la torre y en el agua de salida de la misma, con la finalidad de mantener la temperatura ideal.

El encargado de laboratorio debe construir una gráfica de control con los valores diarios promedio, estos valores se registran en el (formato LCC-004).



#### **4.1.4 Control de reactivos.**

El personal de laboratorio debe llevar un control de la cantidad mensual de los compuestos químicos utilizados en cada una de las torres, con la finalidad de ayudar a fijar criterios respecto a los consumos y cálculos financieros

#### **4.1.5 Control de índice de incrustación.**

El personal de laboratorio debe calcular y presentar graficas de control del índice de incrustación promedio (formato LCC-005).

#### **4.1.6 Control de ciclos de concentración.**

Con los datos obtenidos por el laboratorio, el personal encargado del mismo debe calcular y graficar diariamente los ciclos de concentración promedio en base a la dureza total, para garantizar las cantidades adecuadas de agua de repuesto (formato LCC-006).

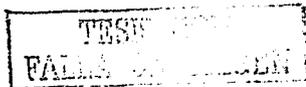
El ingeniero encargado de inspección y seguridad, debe efectuar una revisión y monitoreo de las gráficas de control para verificar que se opere dentro del rango establecido.



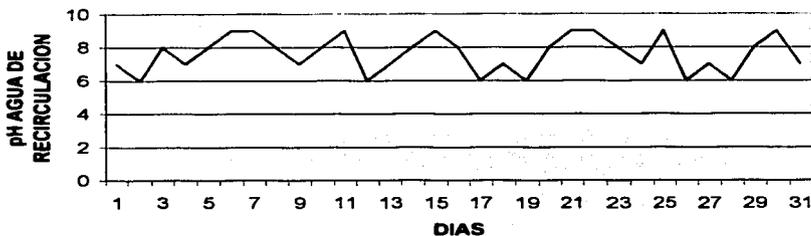
#### **4.1.7 Informes y reportes.**

Se debe elaborar un informe mensual de control de corrosión e incrustación de cada sistema de enfriamiento. Dicho informe lo debe elaborar el encargado de inspección y seguridad con los datos suministrados por el laboratorio de Control de Calidad y enviarse a la Gerencia de Control de Producción, el informe debe contener lo siguiente:

- Comentarios breves y concisos, observados durante el monitoreo mensual.
- Las recomendaciones para la corrección del índice de incrustación.
- pH del agua de recirculación.
- Ciclos de concentración.
- Temperatura de agua de repuesto y salida de la torre.
- Velocidades de corrosión.
- Contaminaciones.

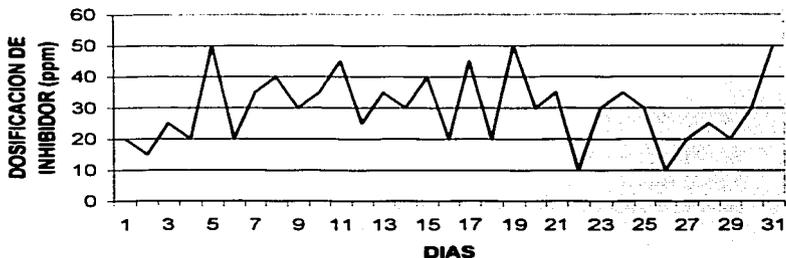


**SISTEMAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO  
GRAFICAS DE CONTROL.**

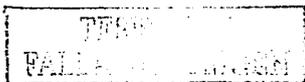


FORMATO LCC-002

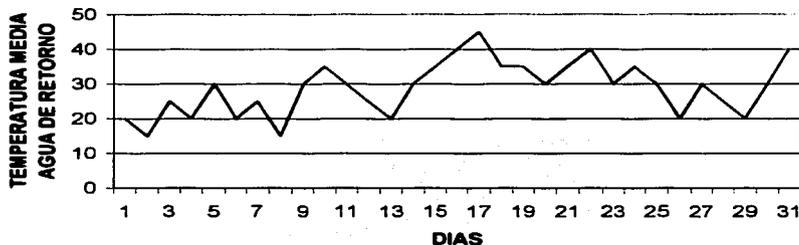
**SISTEMAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO  
GRAFICAS DE CONTROL.**



FORMATO LCC-003

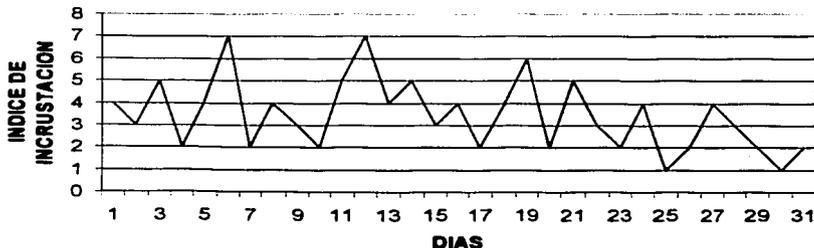


**SISTEMAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO  
GRAFICAS DE CONTROL.**

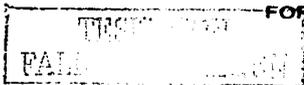


FORMATO LCC-004

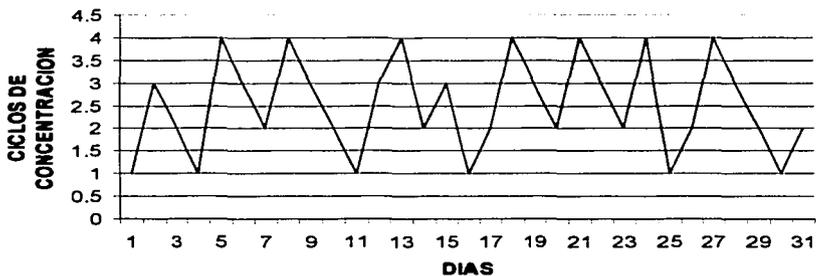
**SISTEMAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO  
GRAFICAS DE CONTROL.**



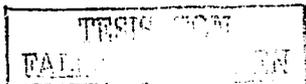
FORMATO LCC-005



## SISTEMAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO GRAFICAS DE CONTROL.



FORMATO LCC-007

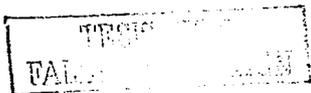


## CONCLUSIONES

El trabajo presentado, se baso en los análisis de un laboratorio de control de calidad de una compañía que se dedica a la elaboración de productos químicos utilizados para diferentes equipos, de los que tome como referencia los utilizados en una torre de enfriamiento.

A lo largo de la realización de este trabajo, pude notar varias deficiencias en el Departamento de Control de Calidad, entre las cuales puedo mencionar las siguientes:

1. Se revisaron los análisis que se llevan a cabo en el departamento de control de calidad para producto terminado que son: pH en solución al 1%, pH concentrado, densidad aparente, alcalinidad libre y total, ácidos libre y total, encontrando que estas técnicas de análisis no se apoyan en ninguna norma, por lo que se propone apegarse a las normas mexicanas aplicadas en el análisis de aguas residuales.
2. Para los análisis de las muestras de agua de la torre de enfriamiento, se hace una comparación entre la técnica de análisis que la compañía realiza contra las normas mexicanas. Como se puede observar en los cuadros de comparación, las diferencias que se observan principalmente son:



a) La concentración de las soluciones utilizadas en los análisis no son valoradas para conocer la concentración exacta. (Alcalinidad).

b) Aun cuando la solución amortiguadora es preparada con los mismos reactivos no son las mismas cantidades que sugiere la norma. (dureza).

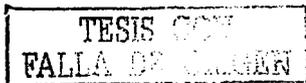
c) El factor de cálculo F se fija con un valor de 50 y no se calcula como la relación de carbonato de calcio con respecto al volumen de E.D.T.A. tal como lo indica la norma.

d) No se tiene cuidado en mantener el pH de 10 en la valoración de calcio.

e) No se utilizan inhibidores en la determinación de calcio y se separan únicamente posibles interferencias filtrando la muestra.

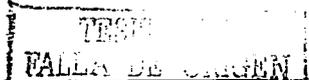
3. El reporte de servicio que se elabora por medio de los resultados de la exploración, muestreo y análisis, no es suficiente ya que no utilizan la carta de índice de saturación de Langelier, por lo que resulta recomendable aplicar este método, que es indispensable para poder dar un diagnóstico de la calidad del agua y recomendar el tratamiento específico.

4. Las recomendaciones que se sugieren en la mejora continua son para una empresa que cuenta con varias torres de enfriamiento, en donde es indispensable hacer un monitoreo diario y tener un mejor control del proceso.



## BIBLIOGRAFIA

1. Ferrero H. J. *Depuración biológica de las aguas*, Editorial Alambra, 1974.
2. Fair M.G: V. 1, "*Ingeniería sanitaria y de aguas residuales*", Editorial Limusa, 1988.
3. Laugier R, *Corrosión bacteriana*, Editorial Limusa, 1985.
4. Nordell E., "*Tratamiento de agua para la industria y otros usos*", Editorial Continental, 1979.
5. ASTM, *Manual de aguas para usos industriales*, Editorial Limusa, 1976 tercera edición
6. Austin T.G., *Manuel de procesos químicos en la industria*, Edit. McGraw-Hill, 1988.
7. Gray N. F, *Calidad del agua problemas y soluciones*, Editorial Acribia S.A.; 1994.
8. Dirección de Saneamiento del Medio Ambiente y Oficina de Entrenamiento Profesional, *Manual de tratamiento de aguas*, Editorial Limusa, 1964.
9. Fair M. G., *Purificación de aguas tratamiento y remoción de aguas residuales*, Editorial Limusa, 1976 Volumen 1.
10. Tebbutt T. H., *Fundamentos de control de la calidad del agua*, Editorial Limusa, 1999.
11. Rigola L. M., "*Tratamiento de aguas industriales, aguas de proceso y residuales*", Editorial Alfa omega, 1999.
12. Powell S. T., "*Acondicionamiento de aguas para la industria*", Editorial Limusa 1986.
13. Catalán L. J., *Química del agua*, Editorial Bellisco, 1990.
14. Romero R. J., *Calidad del agua*, Grupo Editor Alfa omega, 1999.
15. Dosset R. J. *Principios de refrigeración*, Editorial Continental, 1980.



16. Ing. Hernández H G. *Apuntes de aire acondicionado y refrigeración Facultad de Ingeniería*, Editorial Limusa 1973
17. West J. M., *Corrosión y oxidación*, Editorial Limusa 1986.
18. Perry H. R; *Manual del Ingeniero Químico*, Editorial McGraw-Hill, 1992
19. Kirk E. R; *Unión Tipográfica*, Editorial Hispanoamericana Tomo 7 1961.
20. Seroanez C. M., *Aguas residuales, tratamiento por humedades artificiales, fundamentos científicos*, Ediciones mundo prensa 1999.

TESIS CON  
FALLA EN EL EN