

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

UNIDAD ZACATENCO

SECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN.

**“Análisis de Impacto que causan al ambiente los tratamientos
químicos en sistemas de Enfriamiento Industriales.”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS CON

ESPECIALIDAD EN
INGENIERIA AMBIENTAL

PRESENTA:

BIOLOGO; MARCO ANTONIO RODRÍGUEZ PIEDRAS



DIRECTOR DE TESIS M. EN C. RICARDO CONTRERAS CONTRERAS

MEXICO , D.F.

2011



SIP-14

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D.F. siendo las 14:00 horas del día 11 del mes de Noviembre del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.A. - U.Z. para examinar la tesis titulada:
"Análisis de Impacto que causan al ambiente los tratamientos químicos en sistemas de Enfriamiento Industriales"

Presentada por el alumno:

RODRIGUEZ	PIEDRAS	MARCO ANTONIO
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre(s)
	Con registro:	A 0 5 0 6 7 4

aspirante de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL

Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director(a) de tesis

M. EN C. RICARDO CONTRERAS CONTRERAS

M. EN I. FELIPE LÓPEZ SÁNCHEZ

DR. JÓRGE MELENDEZ ESTRADA

M. EN C. JAVIER ÁVILA MORENO

M. EN C. LUIS PRADOS SANDOVAL

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

M. EN C. PINO DURÁN ESCAMILLA



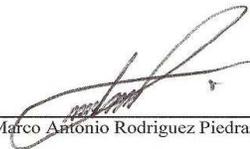


INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D.F. el día 22 de Noviembre del 2011, el que suscribe Marco Antonio Rodríguez Piedras alumno del Programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental con número de registro A050674, adscrito a La Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de M en C. Ricardo Contreras Contreras y cede los derechos del trabajo intitulado **Análisis de Impacto que causan al ambiente los tratamientos químicos en sistemas de Enfriamiento Industriales**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección marcor985@hotmail.com Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



Marco Antonio Rodríguez Piedras



Agradecimientos:

Doy gracias a Dios por haberme permitido llegar a este momento.

Doy gracias a mi familia por estar siempre a mi lado apoyándome en esta aventura tan interesante del conocimiento y el cuidado del Ambiente.

A mis padres y hermanos por creer en mí.

A mi esposa por apoyarme y soportar años de trabajo.

A mis hijos que me alientan día a día para buscar ser un hombre mejor.

El resultado de esta tesis se dio gracias a los conocimientos adquiridos en la parte académica como laboral por tal motivo quiero agradecer:

A mis profesores de la UAM-Xochimilco, principalmente al profesor Alfonso Esquivel y Ruth Soto quienes me han ayudado siempre.

A los profesores con quienes puede tomar algunas materias y con quienes he llevado algunos proyectos al Dr. Cheikh Fall.

A mis profesores de ESIA, Dr. Jorge Meléndez, M. en I. Felipe Lopez, M en C Javier Ávila y por supuesto a mi Director de tesis M en C Ricardo Contreras,

A mis compañeros de coca cola, a mi Jefe Jose Lino Sarmiento de quien aprendí mucho.

A mis compañeros de General Eletric, a Fernando Martinez Martinez y Miguel A. Bautista de quienes he aprendido mucho en esta área.

Corriendo el riesgo de no mencionar a personas importantes para el desarrollo de esta tesis, les pido una disculpa si es el caso.

Gracias a Todos.



“Análisis del Impacto que causan al ambiente los tratamientos químicos en sistemas de Enfriamiento Industriales.”



Índice.

Listado de Figuras y Graficas	4
Listado de Tablas	5
Resumen	
Abstrac	6
Capitulo I Introducción.	7
1.1 Introducción	8
1.2 Objetivos	
1.2.1 Objetivo General.	11
1.2.2 Objetivos Particulares.	11
1.3 Justificación.	12
1.4 Hipótesis.	13
Capitulo II Marco Teórico	
2.1 Sistemas de enfriamiento.	14
2.1.1 Sistemas de enfriamiento cerrados.	15
2.1.2 Sistema de enfriamiento abiertos	18
2.1.2.1 torres de tiro mecánico	18
2.1.2.2. torres de tiro natural	19
2.1.2.3. torres de contra flujo	19
2.1.2.4. torres de flujo transversal	20
2.2 Problemática en los sistemas de enfriamiento.	21
2.2.1 Incrustación.	21
2.2.2 Corrosión.	24
2.2.3 Ensuciamiento.	31
2.2.4 Crecimiento Microbiano.	33
2.3 Tipos de tratamiento para sistemas e enfriamiento.	40
2.3.1 Mecánicos.	40
2.3.2 Operacionales.	42
2.3.3 Tratamiento químicos.	44
2.4 Legislación Ambiental	50
2.4.1 Normatividad.	50
2.4.2 Legislación Ambiental	50
2.4.3 Ley General de Equilibrio Ecológico	50
Capitulo III Metodología	
3.1 Análisis de datos del sistema.	52
3.2 Toma de muestras.	52
3.3 Análisis del agua.	52
3.4 Desarrollo	
Capitulo IV Resultados y Análisis de Resultados	
4.1 Resultados	54
4.2 Análisis de Resultados	62
Capitulo V Conclusiones y Recomendaciones	
5.1 Conclusiones	80
5.2 Recomendaciones	81
Bibliografía	82
Glosario	84



Listado de Figuras:

- Figura 1 Arreglo típico de un sistema de enfriamiento cerrado.
Figura 2 Torre de Tiro Inducido.
Figura 3 Torre de tiro Forzado.
Figura 4 Torre Hiperbólica.
Figura 5 Torre Atmosférica.
Figura 6 Torre Flujo Cruzado.
Figura 7 Torre flujo a contracorriente.
Figura 8 Requisitos clave para la formación de incrustaciones.
Figura 9 Celda Típica de Corrosión.
Figura 10 Empaque Torre Limpio
Figura 11 Empaque Torre con ensuciamiento.
Figura 12 Intercambiador con Ensuciamiento Microbiano.
Figura 13 Charola de Torre con Algas
Figura 14 Crecimiento de algas en Torre.
Figura 15 EPS Matriz Polimérica Extracelular
Figura 16 Vista Conceptual de una Bio-película.
Figura 17 Estructura de cristales modificados.
Figura 18 Estructura de cristales sin modificar.
Figura 19 ejemplo de tuberías pasivadas y sin pasivar.
Figura 20 corrosión generalizada en el espejo del intercambiador por combinación de materiales.
Figura 21 Valores de MPY's del sistema J1
Figura 22 Valores de MPY's del sistema S3
Figura 23 Valores de MPY's del sistema S-4
Figura 24 Valores de MPY's del sistema M-3.
Figura 25 Empaque de alta eficiencia contaminado y actuando como filtro.
Figura 26 corrosión generalizada en el espejo del intercambiador por combinación de materiales.
Figura 27 Charola de Torre con Algas
Figura 28 Lodo Negro en el fondo de Bacín de la torre.
Figura 29, 30 y 31. Aves sacadas del empaque de una torre de enfriamiento.
Figura 32 Simulación de tratamiento de una torre de enfriamiento.
Figura 33 Efecto de los parámetros en el tratamiento de una torre de enfriamiento.
Figura 34 Efecto de los parámetros para el control de corrosión en el tratamiento de una torre de enfriamiento.
Figura 35 Relación de Ciclos de Concentración Contra Alimentación y purga de una torre de enfriamiento.

**Listado de Tablas:**

Tabla 1 Metales usados en los sistemas recirculantes de agua de enfriamiento.

Tabla 2 Comparación de los indicadores de estabilidad del carbonato cálcico.

Tabla 3 – Inhibidores de corrosión típicos

Tabla 4 – sistemas analizados.

Tabla 5 – Parámetros medidos.

Tabla 6 – Parámetros medidos en Sistema J1

Tabla 7 – Parámetros medidos en agua de repuesto de Sistema J1

Tabla 8 – Parámetros Microbiológicos medidos en Sistema J1.

Tabla 9 – Parámetros medidos en Sistema S3

Tabla 10 – Parámetros medidos en agua de repuesto de Sistema S3

Tabla 11 – Parámetros Microbiológicos medidos en Sistema S3.

Tabla 12 – Parámetros medidos en Sistema S-4

Tabla 13 – Parámetros medidos en agua de repuesto de Sistema S-4

Tabla 14 – Parámetros Microbiológicos medidos en Sistema S-4.

Tabla 15 – Parámetros medidos en Sistema M-3

Tabla 16 – Parámetros medidos en agua de repuesto de Sistema M-3

Tabla 17 – Parámetros Microbiológicos medidos en Sistema M-3

Tabla 18.- se muestran los resultados en general del muestreo de agua de recirculación.

Tabla 19.- Muestra las Condiciones de Operación Ideales de agua de recirculación.

Tabla 20.- Muestra Parámetros del programa de tratamiento químico.

Tabla 21.- Muestra Parámetros del Mecánicos del sistema.

Tabla 22.-Resultados de toxicidad aguda en peces de un Biocida oxidante:

Tabla 23.-Resultados de toxicidad aguda en invertebrados de un Biocida oxidante:

Tabla 24.-Resultados en vegetales acuáticos de un Biocida oxidante:

Tabla 25.-Porcentaje de dispersión del producto en agua aire, suelo o aire:

Tabla 26.-Resultados de toxicidad aguda en peces de un Biocida no oxidante:

Tabla 27.-Resultados de toxicidad aguda en invertebrados de un Biocida no oxidante:

Tabla 28.-Resultados en Aves de un Biocida no oxidante:

Tabla 29.-Porcentaje de dispersión del producto en agua aire, suelo o aire:

Tabla 30.-Resultados de toxicidad aguda en peces de un Multifuncional:

Tabla 31.-Resultados de toxicidad aguda en invertebrados de un Multifuncional:

Tabla 32.-Demanda biológica de Oxígeno a 5 días de un Multifuncional:

Tabla 33.-Porcentaje de dispersión del producto en agua aire, suelo o aire:



Resumen

En la presente tesis se realizó un análisis con el fin de ver la variedad de condiciones en las que se encuentran los sistemas de enfriamiento y las operaciones de los sistemas de enfriamiento, los cuales son de importancia energética y aseguran la continuidad de la operación de una manera eficiente si son tratados adecuadamente, estos juegan un papel importante para el consumo de agua en la industria y el tratamiento de las aguas de desecho según las características de las purgas de estos sistemas; se tocan los problemas principales de este tipo de sistemas que son: corrosión, incrustación, ensuciamiento y crecimiento microbiano. Se hace un análisis de las condiciones de cuatro sistemas distintos en los cuales se estudió la forma de impactar al ambiente mediante la mala operación, condiciones mecánicas o tratamientos químicos; se fortaleció la premisa de que el mejor programa de tratamiento es el que lleva menor cantidad de productos químicos mediante una operación y control adecuado; si consideramos los métodos de tratamiento mecánicos, operacionales físicos y químicos para establecer un buen programa de tratamiento químico; así como se encontró que los problemas de un mal tratamiento o falta de tratamiento como, corrosión, incrustación, ensuciamiento y microbiología; acarrear una pérdida de eficiencia en los sistemas que traen de la mano pérdidas de energía y por consiguiente un impacto al ambiente más significativo.



Abstract

In this thesis an analysis to see the variety of conditions found in cooling systems and operations of the cooling systems which are important energy and ensure continuous operation in a efficient if treated properly, they play an important role in water consumption in the industry and the treatment of wastewater according to the characteristics of the purges of these systems will play the main problems of this type of systems are: corrosion, fouling, fouling and microbial growth. An analysis of the conditions of four different systems in which they study how to impact the environment by improper operation, mechanical condition or chemical treatments was strengthened the premise that the best treatment program is one that has fewer of chemicals by an operation and proper control if we consider the mechanical treatment methods, operational and chemical physicists to establish a good treatment program, and found that the problems of poor treatment or no treatment as corrosion, scale, fouling and microbiology; carry a loss of efficiency in the systems of the hand brought energy losses and therefore a more significant impact on the environment.



Capítulo I

Introducción.

1.1 Antecedentes

El temor creciente de que en muchas partes del mundo se sufra escasez de agua, ha hecho que su reutilización se convierta en un frecuente tema de controversia. No obstante, en realidad se trata de una práctica ya antigua. Puesto que en la tierra existe una cantidad fija de agua, es evidente, que de acuerdo con la ley de la materia, que para satisfacer las numerosas necesidades, parte de ella debe reutilizarse repetidamente. Por supuesto, el reciclaje perpetuo del agua de la atmósfera a la tierra y luego al océano, para pasar una vez mas a la atmósfera, no es uniforme en todo el mundo. (American Society for testing and materials, 2000)

Como es de esperarse, las necesidades de las industrias individuales varían en forma notable. Los principales consumidores, tales como las industrias químicas y metalúrgicas extraen de 5 a 30 veces más agua que las industrias menores, por ejemplo, la tenerías. Dentro de una misma industria, una fábrica cualquiera puede emplear de 10 a 25 veces el volumen por unidad de producto que otra planta similar ubicada en otro sitio diferente, o con diferente calidad de agua. (American Society for testing and materials, 2000)

El manejo Racional del agua en las industrias es un factor de suma importancia para el cumplimiento con la normatividad ambiental y para el desarrollo de las empresas, los aspectos económicos son en cada momento más evidentes al visualizar un retorno de inversión en la modernización de los procesos para el cumplimiento ambiental; cuando no existe una buena administración del agua en las industrias, los costos tienden a elevarse y el desperdicio y la contaminación del agua son excesivos, por ejemplo: en una empresa cada litro de extracción se refleja directamente en los litros de agua residual descargado, en algunos casos esto también implica gastos de pre tratamiento para aguas de calderas, acondicionamiento para aguas de procesos o según sea el caso; además de un aspecto muy importante el impacto ambiental es doble: el impacto de extracción al bajar los niveles en los mantos freáticos y si el agua residual va a un cuerpo de agua, el impacto que generara en este cuerpo por la carga contaminante que lleve.

Otro aspecto muy importante en el manejo del agua es como se ocupa y como no tenemos una buena cultura de manejo de ésta; en un buen porcentaje de las empresas el agua se mezcla y se envía a plantas de tratamiento de aguas residuales, estos tratamiento son muy altos en costo y complejidad podemos analizar un poco pensando en que enviándola sin caracterizar las descargas por proceso formamos un agua más difícil de tratar y aumentamos el volumen de tratamiento esto lleva consigo el aumento en los pagos por las descargas, la



energía en la operación de la planta, motores, sopladores, agitadores, gastos de reactivos, generación de lodos, pagos por el confinamiento o disposición de los lodos; es una lista interminable de costos.

Las preguntas que podríamos hacernos en este caso es ¿si podemos bajar los costos?, ¿cuál es el impacto de bajar estos costos? o ¿Cuál es el impacto al ambiente de no bajarlos? En esta introducción haremos un pequeño análisis de los usos del agua en la industria los factores que intervienen para el manejo de ésta y algunas estrategias importantes para el manejo del agua en un industria centrándonos en los sistemas de enfriamiento y el papel tan importante que juegan en una empresa y en el ambiente.

Los usos del agua en la industria se clasifican generalmente en tres áreas:

- Aguas que se usan directamente en el proceso y aguas de servicios.
- Agua que se usa como medio de transporte de energía y control de los procesos.
- Aguas residuales provenientes de los dos puntos anteriores.

En este caso nos enfocaremos en el agua de control de procesos, en los procesos es necesario mantener temperaturas para control de reacciones y en el enfriamiento de sistemas como compresores nos enfocamos en este proyecto a los sistemas de aguas de enfriamiento y a su tratamiento las ventajas y las desventajas de estos tratamientos en relación con el ambiente.

La mayor parte de los procesos industriales necesitan agua de enfriamiento para aumentar su eficiencia y reducir sus riesgos. Refinerías, acerías, plantas petroquímicas, plantas termoeléctricas y otras plantas que funcionan con equipos o procesos que requieren temperaturas adecuadas para una producción eficiente y correcta. Los sistemas de agua de enfriamiento controlan las temperaturas transfiriendo calor desde los fluidos calientes originados por los procesos al agua de enfriamiento. Naturalmente, en el transcurso de esta transferencia, el agua se calienta o bien hay que enfriarla antes de usarla de nuevo, o bien hay que reemplazarla gradualmente con un suministro de agua fría. Normalmente esta agua fresca de reposición contiene minerales, tierra, desechos bacterias y otras impurezas. Más aun, a medida que el agua circula a través del sistema, se van acumulando contaminantes. Pronto las temperaturas comienzan a subir, la eficiencia del equipo de enfriamiento disminuye y puede incluso ser necesario parar la planta. (Kemmer, 1989)

Los sistemas de enfriamiento independientemente de la configuración de los equipos, de los materiales de construcción o de las fuentes de agua, son todos ellos propensos a cuatro problemas básicos: corrosión, incrustación, ensuciamiento y contaminación microbiana.

Cada uno de estos problemas está relacionado con las leyes básicas naturales por las que los metales tienden a volver a su estado de oxidación natural, los



minerales a precipitarse, los sólidos en suspensión a sedimentarse, y los microorganismos a multiplicarse. En conjunto, todos estos problemas pueden detener el funcionamiento óptimo de un sistema de agua de enfriamiento de forma muy rápida.

Afortunadamente, la tecnología moderna proporciona métodos de protección contra cada uno de estos problemas, es en estos métodos de protección donde nos centraremos a analizar el impacto que causan al ambiente estos principalmente cuando se abusa de los métodos químicos antes de un buen análisis del problema.

La torre en sí es una medida de impacto positiva ya que estos sistemas ayudan a que el agua que se usa en una empresa para sistema de enfriamiento se pueda reusar haciéndola recircular por varios ciclos de concentración, el número de ciclos está determinado por la calidad del agua.



1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General.

Realizar el análisis de impacto que causan al ambiente los tratamientos químicos para el acondicionamiento de aguas de enfriamiento en distintos sistemas industriales.

1.2.2 Objetivo Particular.

1.2.2.1 Realizar un análisis entre los métodos de control y tratamiento para el control de la corrosión, incrustación, ensuciamiento y control microbiano en sistemas de enfriamiento.



1.3 Justificación.

En la Industria los sistemas de enfriamiento son una parte esencial para el control y la operación de los procesos; Los sistemas de enfriamiento independientemente de la configuración de los equipos, de los materiales de construcción o de las fuentes de agua, son todos ellos propensos a cuatro problemas básicos: corrosión, incrustación, ensuciamiento y contaminación microbiana. El control de estos problemas asegura la producción continua de las plantas productivas y evitan las pérdidas de energía en los procesos de transferencia de calor manteniendo los sistemas limpios y en buenas condiciones.

La aplicación de los procesos de control para evitar los cuatro problemas básicos en muchas ocasiones no llegan a ser los adecuados; cuando estos son adecuados resuelve uno de los cuatro problemas básicos pero empeora uno o varios de los restantes.

En muchos de los casos se trata de resolver estos problemas mediante métodos químicos dejando en última instancia los controles principales, como los mecánicos y los operacionales.

El tratamiento químico llega a representar un porcentaje mayor al 50%, de los costos de tratamiento por esto es importante considerar los métodos mecánicos y los operacionales antes de saturar los sistemas de productos químicos causando un impacto ambiental mayor.



1.3.1 Hipótesis.

Los impactos Ambientales ocasionados en el tratamiento de aguas de sistemas de enfriamiento se deben principalmente a los tratamientos químicos, por lo que mediante una aplicación correcta de las condiciones mecánicas-operacionales de los controles para el acondicionamiento de agua de los sistemas de enfriamiento se puede reducir el costo de los tratamientos y a su vez se reduce el impacto al ambiente bajando considerablemente el uso de químicos.



Capítulo II Marco Teórico

2.1 Sistemas de enfriamiento.

El grado en que el agua puede utilizarse está determinado en gran parte por la efectividad de los tratamientos de control de calidad que integran el sistema de reutilización. Puesto que aproximadamente el 80 % de toda el agua usada en la industria se emplea para enfriamiento, la eliminación de la contaminación calorífica es un problema vital. En sistemas de reciclaje, el agua se enfría por medio de estanques de aspersion, rociamiento, tanques y torres de enfriamiento, condensadores de evaporación e intercambiadores de calor enfriados con aire. (American Society for testing and materials, 2000)

Todos, excepto el último dependen del efecto de enfriamiento por aireación, por cada reducción de 5.5 °C en la temperatura se evapora alrededor del 1% del agua circulante y la pérdida es independiente del tipo de sistema en que se efectuó la evaporación, si no se toman en cuenta las pérdidas por viento que son relativamente pequeñas, Incluso, cuando existe un factor considerable de pérdida por viento el consumo de agua de la torre de enfriamiento rara vez duplica. El de un sistema de un solo paso en el que fluye el agua directamente a la corriente de abastecimiento. La efectividad de un sistema de abastecimiento de agua, está determinada por la temperatura de bulbo húmedo del ambiente, que es el límite inferior absoluto al que el agua puede enfriarse por evaporación. La temperatura final que se obtenga puede variar desde 1 o 2 grados por debajo de la temperatura atmosférica, cuando la humedad del aire es alta y hasta 1 °C o más por debajo de la temperatura atmosférica si el aire es muy seco. En consecuencia, los enfriadores por evaporación son más eficaces en regiones áridas. (American Society for testing and materials, 2000)

Las torres de enfriamiento de tiro forzado con ventiladores en la base y flujo de aire a contra corriente, están sustituyendo a los tipos de corriente inducida (hélice en la parte superior) y de corriente natural. Para aplicaciones industriales las torres de enfriamiento son más eficientes que los estanques de aspersion debido al mejor contacto que se establece entre el agua y el aire circundante. (American Society for testing and materials, 2000)

Los condensadores por evaporación combinan las funciones de las torres de enfriamiento y de los enfriadores de proceso en una sola operación. En una instalación típica, el agua de enfriamiento se rocía sobre los tubos enfriadores de un sistema refrigerante, para condensar el refrigerante y liberar el calor a una corriente de aire circulante, disipándolo. Este método es más apropiado para las operaciones de enfriamiento en procesos unitarios. (American Society for testing and materials, 2000)

2.1.1 Sistemas de enfriamiento cerrados.

En los sistemas de recirculación cerrados, el calor se transfiere del proceso al agua de enfriamiento por conducción o por medio de otro equipo de transferencia de calor. En estos sistemas no se evapora ni se concentra el agua. Se dice que un sistema es “cerrado” cuando está diseñado para llenarse de agua una sola vez, cerrarse y funcionar después durante largos periodos sin que se agreguen cantidades significativas de agua de reposición. En los sistemas de enfriamiento cerrados, el calor normalmente es disipado por un circuito de enfriamiento abierto o aire forzado que pasa por encima de los tubos que contienen el agua del sistema cerrado como el caso del radiador de un automóvil. (Kemmer, 1988).

2.1.1.1 características de un sistema cerrado.

En la Figura 1, se describe un sistema típico de recirculación cerrado.

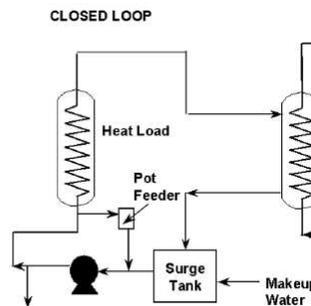


Figura 1.- Arreglo típico de un sistema de enfriamiento cerrado. (Nalco, 2006)

Los métodos empleados en un sistema de recirculación cerrado para transferir calor a la atmósfera no son tan eficaces como una torre de enfriamiento. En algunas aplicaciones, se prefiere un sistema de recirculación cerrado. Algunas de las razones por las que se puede usar un sistema cerrado se mencionan delante:

- **Procesos críticos** – El sistema requiere superficies de transferencia de calor muy limpias y se cree que no puede tolerarse la variabilidad de las condiciones de operación dadas en un sistema de recirculación abierto. Se pueden citar como ejemplos los circuitos primarios de enfriamiento en las plantas nucleares, enfriamiento de compresores, sistemas de colada continua en acerías y hornos de inducción.
- **Restricciones de descarga** – Se puede cerrar un sistema para reducir o eliminar las descargas a fin de cumplir con regulaciones gubernamentales contra la contaminación química o térmica, debido a la carencia de



instalaciones adecuadas de tratamiento de aguas residuales o a una serie de otras razones. En estos casos, se pueden usar intercambiadores de calor enfriados por aire.

- **Fuentes de agua limitadas** – Las fuentes de agua son limitadas o es más conveniente usar enfriamiento de aire forzado, como en los vehículos de transporte.
- **Extensión de la vida útil de los equipos** – No se requieren grandes cantidades de enfriamiento y la forma más sencilla de prolongar la duración de los equipos es cerrar el sistema, reduciendo así la corrosión. Los sistemas refrigeradores normales se incluyen en esta categoría.
- **Uso limitado de productos químicos** – Debido a la naturaleza del proceso, se puede limitar el uso de algunos compuestos químicos. Por ejemplo, el agua de hornos de inducción debe tener una conductividad muy baja debido a la corriente eléctrica del calentador de inducción. Así pues, no se pueden usar muchos productos químicos de sistemas de enfriamiento. (De la Cruz;1997).

También se consideran circuitos cerrados otros tipos de sistemas que no requieren enfriamiento. Por lo general, un sistema puede considerarse como cerrado si no existe una concentración significativa de los sólidos en el agua y no esta directamente abierto a la atmósfera. (American Society for testing and materials;1982)

A continuación se citan ejemplos de sistema cerrados que no son de enfriamiento:

- Calderas de agua caliente cerradas a fin de conservar calor pero que a menudo pueden tratarse económicamente con producto de sistemas cerrados.
- Tanques de almacenamiento u otros equipos llenos de agua y cerrados a la atmósfera. En esta categoría se incluyen los tanques de emergencia y los tanques de almacenamiento térmico.
- Equipos sometidos a pruebas hidráulicas y cerrados a la atmósfera durante las mismas. Las plataformas de pruebas de motores constituyen un ejemplo de este tipo de proceso.

Todos los sistemas cerrados consisten al menos en un aparato para calentar o enfriar un fluido de recirculación, una bomba de recirculación y un intercambiador de calor diseñado para calentar o enfriar. Este segundo medio puede ser aire, agua o una corriente de proceso industrial, las velocidades de recirculación generalmente oscilan entre 0,9 y 1,5 m/s pero pueden alcanzar de



9 a 12 m/s en aplicaciones de fundentes extremadamente caliente como por ejemplo los procesos de colada continua de tochos de acero.

La variación promedio de temperatura en el fluido de un sistema típico generalmente esta comprendida entre 5 y 8 °C. Ocasionalmente se producen variaciones de temperatura mucho más grandes. Las temperaturas máximas pueden alcanzar valores de 80 °C (por ejemplo de agua caliente), y las temperaturas mínimas de -2 °C (por ejemplo en sistemas de agua refrigerada). En teoría estos sistemas usan muy poco agua de reposición. El promedio es de 0,1 a 0,5 % de la capacidad diaria del sistema. Generalmente no se planean purgas de agua en sistemas cerrados, pero normalmente se producen pérdidas de agua en el sistema normal debido a fugas en los tanques de expansión, sellos y válvulas. (Nalco, 1999).

Las condiciones durante la operación son generalmente constantes, sin embargo en algunos sistemas se producen frecuentemente condiciones de continuidad y discontinuidad.

En la tabla 1 se muestra la variedad de metales que se encuentran típicamente en un sistema de recirculación cerrado. En general, si el sistema está construido con metales del mismo grupo, se reduce la probabilidad de que se produzca una corrosión galvánica. Cuanto más alejados estén los grupos a los que correspondan los pares de metales, mayor será el potencial de corrosión galvánica.

Tabla 1 Metales usados en los sistemas recirculantes de agua de enfriamiento.

GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C	GRUPO D
Hierro Acero Hierro Colado	Cobre Laton admiralty Laton admiralty (inhibido) Laton rojo Metal Muntz Laton naval Cuproníquel Laton de aluminio Bronce de aluminio	Aluminio Aluminio alclad	Acero Inoxidable Níquel Monel

Fuente: (Nalco, 1999).



2.1.2 Sistema de enfriamiento abiertos.

El sistema de enfriamiento más común usado en la industria es tal vez el sistema de recirculación abierto. Estas unidades están básicamente abiertas a la atmósfera, a la que se cede calor durante el proceso de evaporación. La evaporación y el efecto de enfriamiento producido disminuye la temperatura de la masa de agua, que circula por una variedad de equipos de intercambio de calor, absorbe el calor y vuelve a la torre abierta para repetir el ciclo.

Los sistemas de recirculación abiertos pueden formar parte de otros sistemas, tales como un sistema cerrado, donde el calor es eliminado de una fuente que no está abierta a la atmósfera. El proceso es muy simple y eficiente, siempre y cuando los distintos equipos se mantengan en las condiciones de trabajo apropiadas. Galvanele, J.R.; (1979)

Torres de enfriamiento.

Cuando el agua de enfriamiento de recirculación pasa por los equipos de proceso, absorbe calor del proceso y lo transporta a la torre de enfriamiento. Cuando llega a la torre, el agua desprende el calor a la atmósfera. Después el agua vuelve a los equipos de proceso y repite el ciclo.

Las torres de enfriamiento más comunes son del tipo húmedo (Evaporativo), en las que se evapora parte del agua de recirculación. Cuando parte del agua de enfriamiento caliente se transforma en vapor, se desprende calor a la atmósfera, enfriando así el resto del agua. McCabe, W.L.; Harriott, J. C. (2002)

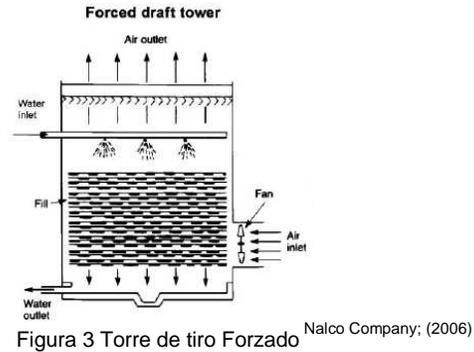
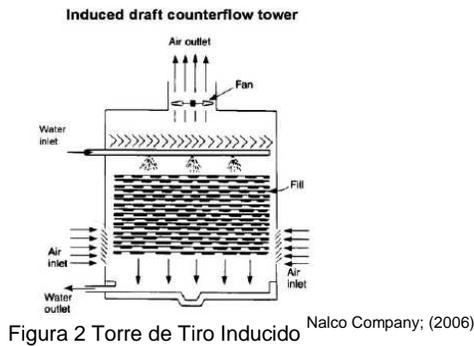
Algunas torres no hacen uso de la evaporación como proceso de enfriamiento: estas torres se llaman torres de enfriamiento secas. En estos sistemas, el agua pasa por tubos cuyo exterior es ventilado por aire. El agua se enfría por convección simple al transferirse calor del agua a la atmósfera. Las torres de enfriamiento también pueden ser combinaciones de estos dos tipos de torres. ⁽¹¹⁾

Las torres evaporativas húmedas pueden ser torres de tiro mecánico o de tiro natural.

En las torres de tiro mecánico el aire se mueve por medio de ventiladores y en las torres de tiro natural el aire se mueve debido a las diferencias de densidad del mismo dentro y fuera de la torre.

2.1.2.1. Torres de tiro mecánico.

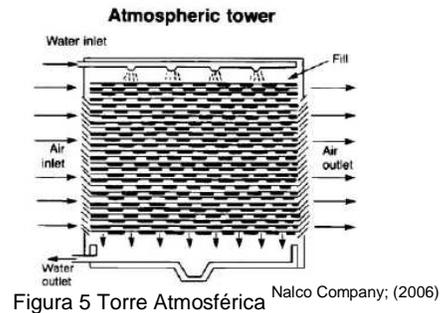
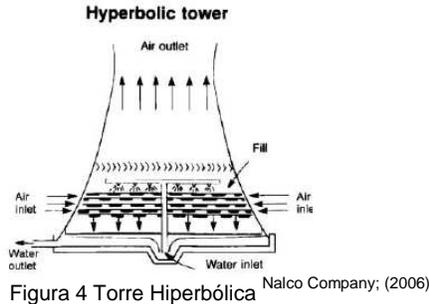
En una torre de tiro mecánico, la posición del ventilador indica si la torre es de tiro inducido o forzado. Las torres de tiro inducido aspiran el aire por la torre Figura 2, mientras que las torres de tiro forzado lo impulsan a través de la misma Figura 3.



En una torre de tiro forzado, el ventilador impulsa principalmente aire seco, y la corrosión de las aspas del ventilador es mínima. La desventaja fundamental de este tipo de torres es que los vapores calientes y húmedos procedentes de la parte de arriba de la torre recirculan a la región de admisión del ventilador de baja presión. Durante las estaciones frías, esta condición a menudo produce la formación de hielo en la caja del ventilador. Kemmer, F.N. (1988)

2.1.2.2. Torres de tiro natural

Las torres de tiro natural se dividen en dos: hiperbólicas y atmosféricas, como se muestran en las figuras 4 y 5:



En estas torres, el aire de dentro es calentado por el agua de recirculación caliente que cae por el aire. Las torres hiperbólicas se limitan a las zonas geográficas donde las condiciones atmosféricas son las adecuadas. McCabe, W.L.; Harriott, J. C. (2002)

Tanto las torres de tiro natural hiperbólicas como las atmosféricas están diseñadas para rendir de forma óptima a una temperatura de bulbo húmedo dada y cuando la humedad es alta. Además, funcionan mejor cuando la diferencia entre el agua fría y la temperatura de bulbo húmedo es igual o mayor que la diferencia entre las temperaturas del agua caliente y del agua fría. Kemmer, F.N. (1988)

Las ventajas principales de las torres de tiro natural son:

- No tienen ventiladores, por lo que no hay gastos relacionados a la operación o mantenimiento.
- Tienen una mayor capacidad de disipación de la columna de vapor y reducir así la recirculación de la misma.

2.1.2.3. Torres de contraflujo y 2.1.2.4. Torres de Contracorriente.

Las torres evaporativas húmedas pueden ser de corriente transversal o a contracorriente.

En las torres húmedas, el agua se pone en contacto con el aire de enfriamiento. El aire puede circular transversalmente o en contracorriente con respecto al agua que cae como se muestra en las figuras 6 y 7

Las tasas de transferencia de calor a la atmósfera dependen de los siguientes factores:

- Área superficial del agua en contacto con el aire.
- Diferencia entre la temperatura del bulbo húmedo y la temperatura del agua de enfriamiento de retorno.

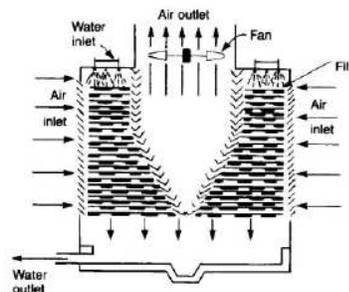


Figura 6 Torre Flujo Cruzado Nalco Company; (2006)

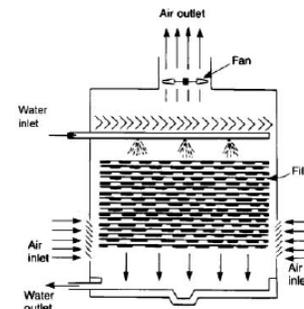


Figura 7 Torre flujo a contracorriente. Nalco Company; (2006)



2.2 Problemática en los sistemas de enfriamiento.

Los sistemas de agua de enfriamiento, independientemente de la configuración de los equipos, de los materiales de construcción o de las fuentes de agua, son todos propensos a cuatro problemas básicos: corrosión, incrustaciones, ensuciamiento y contaminación microbiana. Cuando no se controlan, estos problemas provocan una pérdida de transferencia de calor y la falla de los equipos, causando a su vez pérdida de producción y de beneficios, costos de mantenimiento más elevados y en casos más serios, la parada de la planta.

Tchobanoglous, G.; Burton, F.L.; Stensel, H.D. (2003)

Cada uno de estos problemas está relacionado con las leyes básicas naturales por las que los metales tienden a volver a su estado natural oxidado, los minerales a precipitar, los sólidos en suspensión a sedimentarse y los microorganismos a multiplicarse. En conjunto, todos estos problemas pueden detener el funcionamiento de un sistema de agua de enfriamiento de forma muy rápida.

Kemmer, F.N. (1988)

2.2.1 Incrustación.

Las incrustaciones constituyen uno de los problemas más comunes encontrados en los sistemas de agua de enfriamiento. Cuando se forman incrustaciones en las superficies de los intercambiadores de calor y en las tuberías de transferencia, demoran el intercambio de calor, aceleran el ensuciamiento, fomentan cierto tipo de corrosión y crecimiento microbiano, y aumentan la contrapresión de bombeo. Esto, a su vez, resulta en la disminución del rendimiento de la planta, reducción de la productividad, retrasos de los planes, más tiempo de parada de mantenimiento, y aumento de los costos de los equipos, reparaciones y repuestos. Todo lo anterior provoca el aumento de los costos de operación y la disminución de los beneficios.

Nalco Company; (2006)

2.2.1.1 mecanismo de formación de incrustaciones.

La acumulación de incrustaciones tiene lugar cuando las sales en disolución acuosa precipitan debido a que se ha excedido su solubilidad. Las incrustaciones normalmente forman una capa densa de minerales muy adherente entre si y a las superficie del metal. Las incrustaciones pueden ser de naturaleza cristalina o amorfa y, debido a su baja conductividad térmica, impiden la transferencia de energía a través de las superficies del intercambiador de calor. ⁽¹⁰⁾

Los fangos y los agentes del ensuciamiento normalmente son partículas insolubles presentes en el agua de reposición o introducidas por fugas del



proceso o crecimiento microbiano dentro de un sistema de enfriamiento. Estos sólidos tienden a formar depósitos o masas sueltas, no adherentes, normalmente en las secciones de un sistema con baja velocidad de flujo. No obstante, se pueden incorporar sólidos en suspensión a las incrustaciones. ^{Kemmer, F.N.; Mc Callion, J. (1989)}

El carbonato cálcico es con mucho el tipo más común de incrustaciones encontrado en los sistemas de agua de enfriamiento; no obstante, también se observan incrustaciones de sulfatos, fosfatos y silicatos, así como también otras sales de calcio, hierro, manganeso, magnesio y zinc. ^{Kemmer, F.N.; Mc Callion, J. (1989)}

Factores que influyen en la formación de incrustaciones.

La cristalización directa de un compuesto sobre una superficie ocurre cuando se dan cuatro condiciones simultáneamente según se muestra en la figura 8.

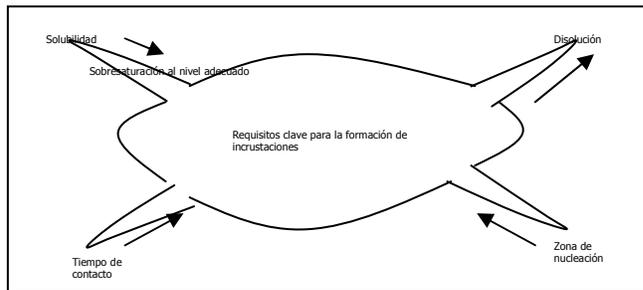


Figura 8 requisitos clave para la formación de incrustaciones. ^{Nalco Chemical Company; (1999)}

1. *Sobre saturación* – excediendo la solubilidad del compuesto en el agua del sistema.
2. *Nucleación* – formación de pequeñas partículas de incrustaciones embrionarias.
3. *Tiempo de contacto adecuado* – que permite el crecimiento del cristal.
4. *Formación de incrustaciones* – excediendo la disolución.

Estos son los cuatro factores principales que influyen en la formación de incrustaciones. En esta sección, también se describen varios factores adicionales que se sabe afectan el tipo de factor, velocidad de precipitación y adherencia de las incrustaciones en los sistemas de enfriamiento. ^{Nalco Chemical Company; (1999)}

Sobresaturación – la sobre saturación es el punto en que la concentración de una sal excede su solubilidad en el agua. Un sistema de enfriamiento llega a la



sobresaturación debido a la evaporación, fluctuaciones de pH y cambios de temperatura. Nalco Chemical Company; (1999)

Hay dos estados de sobresaturación: metaestables y lábiles. Estos estados son distintos para cada material, y dependen de la concentración y la temperatura. En el estado metaestable, no se producirá precipitación a menos que sea iniciada por la introducción de materiales nucleantes u otros mecanismos tales como elevada temperatura localizada y pH elevado. Los estados lábiles son inherentemente inestables y reflejan varias etapas de precipitación. Nalco Chemical Company; (1999)

El nivel de sobresaturación en la masa de agua no es indicativo siempre del nivel de sobre saturación en zonas localizadas. La sobresaturación puede ser muy localizada, tal como en una película delgada de flujo de agua laminar junto a una superficie de transferencia de calor, en la interface gas/liquido de una burbuja, en una hendidura o debajo de una capa de depósito existente. Esta es la razón por la que se pueden formar incrustaciones en intercambiadores de calor aun cuando la masa de agua esté considerada como no incrustante. Nalco Chemical Company; (1999)

Nucleación – la nucleación o formación inicial de un precipitado, tiene lugar por medio de dos mecanismos básicos: *nucleación homogénea* y *nucleación heterogénea*. La nucleación homogénea ocurre de forma espontánea y está causada por un alto nivel de sobresaturación de la especie incrustante. La nucleación heterogénea ocurre cuando partículas extrañas o la rugosidad superficial inician la formación de incrustaciones. La nucleación heterogénea es más común en los sistemas de agua de enfriamiento debido a la presencia de sólidos en suspensión, productos de corrosión, zonas de corrosión, soldaduras, hendiduras, la rugosidad superficial de un intercambiador de calor y películas de óxido; pudiendo estas generar incrustaciones. Nalco Chemical Company; (1999)

Para que tenga lugar la nucleación, un mínimo de moléculas (varios miles) deben orientarse de manera que formen una red. Si los núcleos son pequeños, se volverán a disolver. Los núcleos se estabilizan una vez sobrepasando cierto tamaño. El tiempo necesario para la nucleación varia, dependiendo en gran medida del nivel de sobresaturación. El tiempo necesario para la nucleación disminuye al aumentar la sobresaturación.

Tiempo de contacto adecuado – para que se formen incrustaciones después de que se sobresature una solución y haya ocurrido la nucleación, debe transcurrir suficiente tiempo de contacto entre la solución y las zonas de nucleación. Por lo general, cuanto mayor sea el tiempo de contacto, más probable será la formación de incrustaciones. El tiempo necesario para la formación de incrustaciones puede variar por unos pocos segundos a muchos años, dependiendo del nivel de sobre saturación, tipo y número de zonas de nucleación, temperatura, pH, agitación y otros factores. Nalco Chemical Company; (1999)



Disolución, formación y envejecimiento de incrustaciones – durante la acumulación de depósitos de incrustaciones, se producen fenómenos constantes de disolución y nueva formación de depósitos en las caras del cristal. Las incrustaciones se acumulan cuando la velocidad de formación de depósitos es mayor que la velocidad de disolución. Cuando las incrustaciones empiezan a precipitar, especialmente si se depositan rápidamente, muestran generalmente una estructura relativamente porosa que se elimina fácilmente con un esfuerzo mecánico. Sin embargo, el envejecimiento cambia drásticamente las propiedades físicas de la mayoría de las incrustaciones. Las incrustaciones recientemente precipitadas normalmente pueden eliminarse con facilidad, mientras que las incrustaciones envejecidas tienden a endurecerse, a hacerse densa y más adherentes y difíciles de eliminar. ^{Wulfinghoff, D. R.(1999)} Este fenómeno se debe en su mayor parte a la disolución, a la formación de depósitos, al crecimiento de cristales y a los cambios de fase, en los que tiene lugar una hidratación y deshidratación hasta que los cristales individuales formen una masa maciza y unificada. Este proceso de envejecimiento se acelera si ocurre sobre las superficies de los intercambiadores de calor. ^{Kemmer, F.N. (1988).}

El control de pH, aumento de temperatura y la velocidad de flujo contribuyen directamente con esos cuatro factores que influyen en la formación de incrustaciones. ^{Wohlberg, C. (1975)}

2.2.2 Corrosión.

Ya que los equipos de intercambio de calor de los sistemas de enfriamiento están fabricados de varios metales, están sujetos a los mismos problemas que afectan a los automóviles, a las herramientas, a las tuberías domésticas, y a otros productos metálicos. ^{Almeraya C. F.; Gaona. Citalli. Et. All. (2000)} Si no se tratan o protegen debidamente, estos metales parecen autodestruirse cuando son expuestos al aire, el agua, o incluso a otros metales. Este es un proceso natural llamado corrosión y en los sistemas de enfriamiento, es un problema muy serio. La corrosión reduce la eficiencia de cualquier sistema, y si no se controla, produce grietas, fugas y la contaminación del producto. Los equipos de enfriamiento diseñados para funcionar durante años pueden fallar en cuestión de días, lo que significa los costos elevados de mantenimiento y reparación, e incluso tener que parar totalmente la producción. ^{Avila, J.; Genesca, Joan. (1995)}

2.2.2.1 El proceso de corrosión

La corrosión es un fenómeno que hace que los metales elaborados, tales como el acero, el cobre y el zinc, vuelvan a sus estados nativos como compuestos químicos o minerales. Por ejemplo, el hierro, en su estado natural, es un compuesto oxidado, pero cuando se procesa para formar hierro o acero pierde el

oxígeno y se convierte en hierro puro. En presencia de agua y oxígeno, las fuerzas de la naturaleza atacan sin cesar al acero, volviendo a convertir el hierro elemental, en oxido, normalmente en forma de una combinación. Chanterreau, J. (1985)

Pila básica de la corrosión – aunque la corrosión es un proceso complicado, se puede explicar fácilmente como la reacción electroquímica mostrada en la figura 9. el metal se pierde en aquella parte llamada zona anódica.

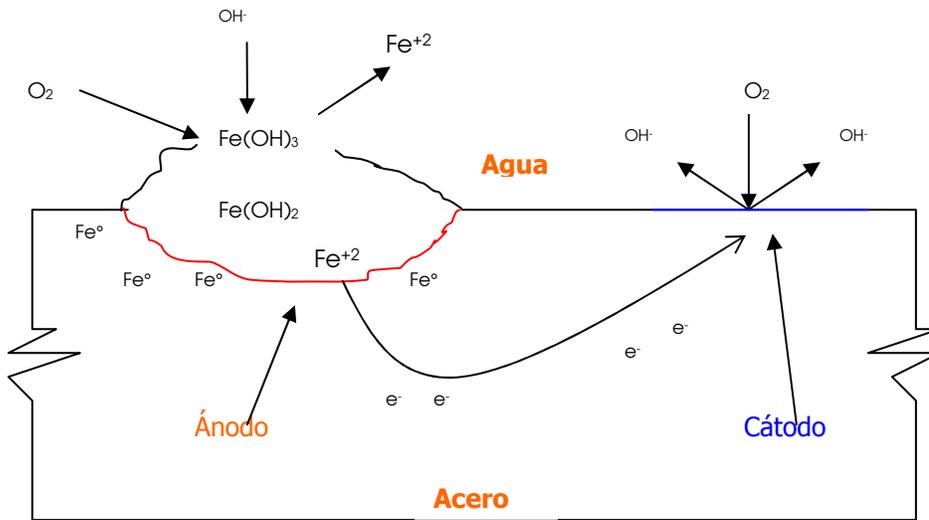


Figura 9 Celda Típica de Corrosión. Jenkins, D.; Snoeyink Vernon L. (1995)

En esta caso el hierro se disuelve en el agua y se oxida formando el Ion Fe^{+2} y como consecuencia de esta formación se desprenden dos electrones que circulan por el acero hasta llegar a la zona catódica. Avila, J.; Genesca, Joan. (1995)

El oxígeno disuelto en el agua se desplaza hacia la zona catódica y cierra el circuito eléctrico, usando los electrones que circulan hacia el cátodo, formando iones hidroxilo, en la superficie del metal. A un pH bajo < 5 , el Ion Hidrógeno puede ocupar el lugar del oxígeno y cerrar el circuito eléctrico; Como la mayoría de los sistemas de enfriamiento operan en un intervalo de pH comprendido entre 6.5 y 9.5 no tiene lugar la reducción de Hidrógeno. La reacción catódica principal es la reducción de oxígeno. Galvenele, J.R.; (1979) Toda la superficie metálica está cubierta de innumerables zonas anódicas y catódicas de tamaño microscópicas. Estas zonas normalmente se originan en irregularidades de la superficie producidas durante el perfilado, la extrusión y otras operaciones de labrado de metales, esfuerzos debidos a la soldadura, perfilado u otras operaciones; o diferencias de composición en las superficies del metal. Jenkins, D. Snoeyink Vernon L. (1995)

En el caso del metal, las diferencias de composición pueden ser causadas por diferentes micro estructuras. Las incrustaciones en la superficie del metal o debajo de la misma, puede ser causa de que se formen pares de ánodos y



cátodos, estas impurezas pueden haberse formado cuando el metal estaba en estado fundido o al haberse incrustado en las superficies durante las operaciones de laminado, acabado o desbastado. Almeraya C. F.; Gaona. Citalli. Et. All. (2000)

Reacción que determina la velocidad.

Los cuatro componentes básicos de una pila de corrosión son el ánodo, el cátodo, el circuito a través del metal entre el ánodo y el cátodo por donde circulan los electrones, y el electrolito (agua en este caso) que circula sobre la superficie del metal. Galvenele, J.R.; (1979). Si falta uno o cualquiera de estos componentes no se producirá corrosión. La oxidación del meta en el ánodo y la reducción del oxígeno en el cátodo son las dos reacciones básicas que tiene lugar en una pila de corrosión a los pH normalmente encontrados en los sistemas de agua de enfriamiento de recirculación abiertos. Un principio básico de la corrosión establece que la suma de las velocidades de las reacciones anódicas debe ser igual a la suma de las velocidades de las reacciones catódicas. En el agua de enfriamiento el proceso de corrosión normalmente se considera que está bajo control catódico, ya que el oxígeno no se difunde fácilmente por el agua o por los distintos óxidos de la superficie catódica. Si el oxígeno no está fácilmente disponible para la reducción del cátodo, se reducirá la velocidad a la que puede ocurrir la velocidad catódica. Si se reduce la velocidad de la reacción catódica, la velocidad de la reacción anódica también se reducirá, ya que ambas velocidades deben ser iguales. Almeraya C. F.; Gaona. Citalli. Et. All. (2000)

Una gran superficie catódica con relación a una zona anódica permite que reaccione más oxígeno, agua y electrones, aumentando el flujo de electrones desde el ánodo, acelerando así la velocidad de corrosión. Por el contrario, al hacerse más pequeña el área catódica en relación al área anódica, disminuye la velocidad de corrosión. Almeraya C. F.; Gaona. Citalli. Et. All. (2000)

No obstante, si se reduce el área anódica sin que se reduzca el área de la forma correspondiente, se perderá la misma cantidad de metal, pero de menos sitios anódicos o áreas anódicas más pequeñas. La velocidad de corrosión no cambiara ya que no se ha reducido la zona catódica. Esta es una explicación sencilla de la causa de las picaduras en los metales. Las picaduras son más perjudiciales que las pérdidas generales sobre una zona anódica grande ya que las picaduras provocan una penetración rápida de la pared del metal y la falla de los equipos. Almeraya C. F.; Gaona. Citalli. Et. All. (2000)

2.2.2.2 Índice de estabilidad

Existe una variedad de cálculos empíricos y teóricos de índices de incrustaciones que hacen posible el pronóstico de la formación de incrustaciones minerales. Estos índices de formación de incrustaciones tienen muchas limitaciones inherentes debido a su naturaleza simplificada. El modelo



computalizado del agua es una extensión lógica del concepto de índice de estabilidad por que se pueden tener en cuenta con más detalles los diversos factores que afectan la formación de incrustaciones minerales. Benson, S. W. (2007)

Los métodos para predecir la tendencia a la formación de incrustaciones varían desde ensayos vía húmeda para determinar sencillos índices de saturación de equilibrio hasta la determinación de índices empíricos basados en datos experimentales o de planta. En la tabla 2 se citan una serie de métodos para predecir la tendencia que presenta el carbonato de calcio a la formación de incrustaciones:

Tabla 2 Comparación de los indicadores de estabilidad del carbonato cálcico.

Método	Definición	Correcciones empleadas	Comentarios
Prueba del mármol	Se dice que un agua forma incrustaciones si se produce la precipitación del CaCO ₃ cuando el agua esta en equilibrio con un pedazo de CaCO ₃	No hacen falta debido a la naturaleza de la prueba.	<ul style="list-style-type: none"> Función del tiempo y de la temperatura. No se puede predecir.
Índice de saturación de Langelier	$LSI = pH - pH_s$ $pH_s = pk_2 - pks + pCa + p alc$ $pH_s = pH$ al cual ciertas concentraciones dadas de calcio y alcalinidad alcanzan la saturación con respecto al CaCO ₃ LSI > 0 significa que el agua tiene tendencia a formar incrustaciones.	K ₂ y K _s corregidas para temperatura por la relación de la solubilidad del CaCO ₃ a 25 °C comparada con su solubilidad a otra temperatura. Corregida para la fuerza ionica por la ecuación limitada de Debye-Hueckel.	<ul style="list-style-type: none"> Las correcciones de temperatura se extrapolaron. La fuerza iónica esta limitada a un STD menor que 800. No se tiene en cuenta los pares iónicos solubles o efecto del Ion común.
Ryznar	$RI = 2pH_s - pH$ RI > 6, Corrosivo RI < 6, Incrustante	Ecuación empírica para indicar la magnitud del problema. Depende del método usado para calcular pH _s .	<ul style="list-style-type: none"> Limitado por el método usado para calcular el pH_s

Fuente Nalco Chemical Company; (1999)

A continuación se muestran algunos índices de Saturación, puckorius y Larson Skold.

Método de cálculo

$LSI = pH_A - pH_S$, LSI= Índice de Saturación Ecuación 1

Donde:

pH_A = pH actual del agua

pH_S = pH de saturación o pH al cual se logra el equilibrio calcocarbónico del agua

$pH_S = pK_2 - pK_{SC} + p[Ca_t] + p[Alc_t] + 5p_f_m$ Ecuación 2

Donde:

K₂ = Segunda constante de disociación para el ácido carbónico.

K_{SC} = Producto de solubilidad para la calcita.

Ca_t = Calcio total, en g-mol/L

Alc_t = Alcalinidad total, en g-equivalentes/L



f_m = Coeficiente de actividad a la temperatura especificada.

Para el cálculo cada uno de los miembros de la ecuación:

$pK_2 = 107,8871 + 0,03252849T - 5151,79/T - 38,92561 \log_{10}T + 563713,9/T^2$, para un rango de temperatura de 273-373 K

$pK_{sc} = 1719065 + 0,077993T - 2839,319/T - 71,595 \log_{10}T$, para un rango de temperaturas de 273-373 K

$p_{fm} = [(A|^{1/2})/(1+|^{1/2})] - 0,3I$, válido para $I < 0,5$

Siendo:

I = Fuerza iónica

Para calcular I tenemos varias posibilidades:

a) Disponemos de un análisis completo

$$I = 1/2 \text{ Sumatorio}([X_i]Z_i)^2 \quad \text{Ecuación 3}$$

b) Cuando sólo conocemos la conductividad eléctrica

$$I = 1,6 \times 10^{-5} \times CE \quad \text{Ecuación 4}$$

c) Cuando sólo conocemos los Sólidos Disueltos Totales (SDT)

$$I = SDT/40000 \quad \text{Ecuación 5}$$

$$A = 1,82 \times 10^6 (ET)^{-1,5} \quad \text{Ecuación 6}$$

siendo,

E = Constante dieléctrica

$$E = [60954/(T+116)] - 68,937 \quad \text{Ecuación 7}$$

NOTAS

[1] Alcalinidad = $[HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] + [OH^-] - [H^+]$, Se trata de la definición más rigurosa en términos de concentraciones molares. En la práctica, podemos despreciar los dos últimos términos de la ecuación. Para el cálculo de los Índices de Ryznar y Langelier hay que expresar la alcalinidad en mg/L de $CaCO_3$

[2] Se describe el método de cálculo simplificado.

[3] Para el cálculo hemos supuesto que todo el $CaCO_3$ está en forma de calcita ya que es la forma más común en aguas naturales.

[4] Este Índice es uno de los más usados para determinar la tendencia del agua a precipitar o disolver $CaCO_3$.

Interpretación de Resultados:



SI > 0 indica que el agua está sobresaturada con respecto a la calcita
 SI < 0 indica que el agua está infrasaturada con respecto a la calcita.

Método para el cálculo del Índice de Puckorius (PSI). T.E., LARSON & R.V., SKOLD (1958)

El índice de Puckorius (PSI) se determina en la ecuación 8.

$$\text{PSI} = 2(\text{pH}_{\text{EQ}}) - \text{pH}_s \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

$$\text{pHEQ} = 1,465 \times \text{Log} [\text{Alcalinidad}] + 4,54. \quad \text{Ecuación 9}$$

Notas

[1] Alcalinidad = $[\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+]$, Se trata de la definición más rigurosa en términos de concentraciones molares. En la práctica, podemos despreciar los dos últimos términos de la ecuación.

[2] El índice de Puckorius (Practical Scaling Index) usa el pH de equilibrio en lugar del pH actual del agua para determinar su carácter agresivo o incrustante. De esta manera tiene en cuenta la capacidad tampón del agua. Se trata de un índice con mucha utilidad práctica.

[3] Para el cálculo de los Sólidos Suspendedos Totales (TDS) se utiliza una aproximación dado por la Ecuación 10.

$$\text{TDS (mg/L)} = \text{CE } (\mu\text{S/cm}) \times 0,64. \quad \text{Ecuación 10}$$

NOTA: Para aguas desaladas es más correcto multiplicar la CE por 0,5 (Valores de 0,51 a 0,53 son más exactos)

Interpretación del Índice de Puckorius

Si $\text{PSI} < 4,5$ Tendencia a la incrustación
 Si $4,5 < \text{PSI} < 6,5$, Rango óptimo (No hay corrosión)
 Si $\text{PSI} > 6,5$ Tendencia a la corrosión.

Método para el cálculo del Índice de Larson – Skold (IL) T.E., LARSON & R.V., SKOLD (1958)

$$\text{IL} = \frac{([\text{Cl}^-] + [\text{SO}_4^{2-}])}{([\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}])} \quad \text{Ecuación 11}$$

Notas

[1] Las concentraciones de cada una de las especies que intervienen en la fórmula 11 deben expresarse en equivalentes por millón (epm) o lo que es lo mismo en meq/L.

[2] El índice de Larson ha sido diseñado para los rangos existentes en los Grandes Lagos U.S. A. (Superior, Michigan, Hurón, Eire y Ontario). Es útil para aguas equilibradas y también las depuradas, en especial las aguas frías (<20°C). Con aguas con alcalinidad muy baja (por ejemplo aguas desaladas) o alcalinidad muy alta no funciona bien. T.E., LARSON & R.V., SKOLD (1958)



Interpretación de Resultados.

Índice de Larson – Skold.

Si $IL < 0,8$, No corrosión

Si $0,8 < IL < 1,2$, Corrosión significativa

Si $IL > 1,2$ Corrosión elevada

2.2.3 Ensuciamiento.

El ensuciamiento es un problema común de los sistemas de agua de enfriamiento (tanto en los de recirculación como en los de paso único). Existen varias clases de agentes de ensuciamiento, orgánicos e inorgánicos, que se depositan en las superficies de transferencia de calor, se acumulan en los equipos u obstruyen los intercambiadores de calor y las tuberías. Como consecuencia del ensuciamiento se producen pérdidas de transferencia de calor y corrosión debajo de los depósitos así como aumentos en la demanda de energía, lo que resulta en paros de producción sin planear, mayor mantenimiento, pérdidas de productividad y reemplazo de equipos. Todo lo anterior se traduce en la disminución de beneficios y mayor Impacto ambiental.

Rosaler, Robert; (2002)

2.2.3.1 Mecanismos de Ensuciamiento.

El ensuciamiento se distingue de la formación de incrustaciones en que los depósitos de ensuciamiento se forman a partir de material en suspensión en el agua, mientras que las incrustaciones se forman a partir de minerales disueltos que precipitan. No obstante, los depósitos de ensuciamientos también contienen cantidades sustanciales de incrustaciones y productos de corrosión además de crecimiento microbiano. Nalco Chemical Company; (1999) La combinación de estos productos complica el mecanismo de ensuciamiento y es la razón por la que es difícil prevenir y limpiar los depósitos de ensuciamiento. En las Figuras 10 y 11 se muestran un ejemplo de un empaque de Torre Limpio y sucio.

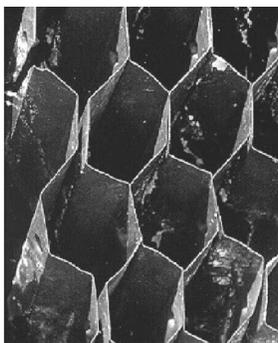


Figura 10 Empaque Torre Limpio



Figura 11 Empaque Torre con ensuciamiento.

Es obligatorio realizar un análisis detallado de las condiciones del sistema y conocer las características del agua antes de hacer recomendaciones específicas para resolver el problema.

Los materiales que causan ensuciamiento de un sistema de enfriamiento pueden ser de seis clases.



- Crecimiento microbiano.
- Material coloidal transportado a lugares específicos(por ejemplo hierro, carbonato de calcio productos de la corrosión).
- Limo o sólidos en suspensión presentes en el agua de reemplazo.
- Polvo o partículas transportadas por el aire y depositados en el sistema por el contacto aire/agua. En el caso de una torre de enfriamiento de recirculación, los sólidos proceden de la acción del lavado de la torre, las partículas del aire quedan atrapadas al atravesar el relleno de la torre.
- Contaminantes tales como aceites o corrientes de proceso químico que pasan al agua de recirculación procedentes de intercambiadores de calor o cajas de engranajes de los ventiladores de la torre de enfriamiento.
- Desechos varios de gran tamaño (insectos, pedazos de madera, hojas, Aves etcétera) Kemmer, F.N. (1988).

Orígenes y tipos de agentes de ensuciamiento

Limo. - el termino limo se refiere a una combinación de partículas insolubles consistentes en sílice y alúmina procedentes de la corteza terrestre y otros sólidos en suspensión que pueden contaminar el sistema. Las partículas de limo de las aguas fluviales pueden variar en tamaño de 1.0 a 100 micras. El limo generalmente puede penetrar al sistema de dos formas:

Agua de reposición. – la fuente de agua de reposición ejerce una gran influencia en la cantidad de limo que entra en el sistema. Las aguas de los pozos generalmente contienen poca cantidad de limo y sólidos en suspensión y son de una calidad constante. Las aguas superficiales generalmente contienen mayores cantidades de limo y la calidad del agua está influida por factores ambientales tales como la escorrentía producidas por lluvias y perturbaciones importantes en un lago.

Contaminación debida al aire. – la ubicación geográfica y el medio afectan el tipo y cantidad de limo que penetra en un sistema, los sistemas de enfriamiento ubicados en zonas llanas, abiertas azotadas por el viento acumulan limo más rápidamente que los sistemas de enfriamiento en una zona protegida.

Sílice.- el silicio es el segundo elemento más abundante en la superficie terrestre. Los dos tipos de depositos de silicio más comunes son la sílice (basada en dióxido de silicio) y los silicatos (basados en las numerosas sales solubles de la sílice).

Minerales Insolubles.- ocasionalmente los sólidos coloidales tales como el carbonato de calcio, óxidos de hierro o dióxido de magnesio. Kemmer, F.N. (1988).



2.2.4 Crecimiento Microbiano.

Un buen control microbiano es crítico para el rendimiento aceptable de todos los programas de tratamiento de agua de enfriamiento. Las buenas prácticas de biocontrol permiten asegurar la existencia de superficies limpias desde el punto de vista biológico en sistemas de enfriamiento, permitiendo un control eficaz de las incrustaciones, corrosión y ensuciamiento. La multiplicación microbiana sin controlar puede pudrir la madera de las torres de enfriamiento, producir corrosión, ocasionar pérdidas de energía y reducir la transferencia de calor, lo que puede resultar en paradas de planta. Kemmer, F.N. (1988).

El control microbiano de los sistemas de agua de enfriamiento comprenden típicamente el control de bacterias, algas y hongos. También se pueden encontrar otros microorganismos en el agua de enfriamiento, sin embargo no son problemáticos y no es necesario tenerlos en cuenta en el tratamiento de agua de enfriamiento. Siyuan C. Morton, Yan Zhang, Marc A. Edwards (2004) La presencia de protozoos y organismo multicelulares normalmente es indicativa de una grave contaminación microbiana y pérdida del control microbiano. Los organismo más comunes encontrados en el agua de enfriamiento pertenecen al reino de los protistas. Estos organismo no son ni plantas ni animales pero tienen muchas características de ambos. Chanterreau, J. (1985)

2.2.4.1 Características típicas de Crecimiento Microbiano.

El número de microorganismos que crecen en un tiempo dado en un sistema de agua de enfriamiento puede cambiar radicalmente como resultado de una variación de la cantidad de sustancias nutritivas dentro de un sistema. La mayoría de los microorganismos se divide cada una de las células en dos células nuevas. Por lo tanto empezando por un solo microorganismo el aumento de la población es geométrico de 1 a 2, de 2 a 4, de 4 a 8, de 8 a 16, de 16 a 32, etcétera; el tiempo necesario para que se reproduzca un organismo se llama tiempo de regeneración y puede variar desde 15 a 20 minutos hasta varias horas. Para una especie particular el tiempo de generación está influido por las condiciones ambientales físicas y de nutrición. En lugares donde haya abundancia de sustancias nutritivas y contaminación, el crecimiento de los microorganismos aumenta el ensuciamiento de los equipos. Berk S. G. Et. All; (2006)

Según sean tratadas las condiciones aerobias pueden crear condiciones para que crezcan las bacterias anaerobias agotando el oxígeno de los depósitos de las bacterias y debajo de los mismos. Otros depósitos como el limo, arena o arcilla también pueden fomentar el crecimiento de organismos anaerobios. En otras palabras, las bacterias anaerobias presentes en la mayoría de las fuentes de agua pueden crecer debajo de los depósitos, ya que las condiciones para su

crecimiento en estos ambientes son ideales. Otro factor importante en los sistemas de agua de enfriamiento es la contaminación continua del sistema por microorganismo procedentes del lavado de aire, de las fugas del proceso o de la contaminación microbiológica del agua de reemplazo. Como consecuencia, los problemas microbiológicos son continuos y generalmente requieren un monitoreo y control constantes. Nalco Company; (2006)

En la figura 12 se presenta una imagen de un intercambiador de tubos con presencia de crecimiento microbiano.

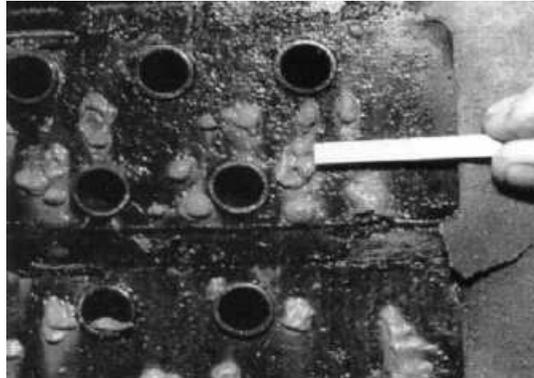


Figura 12 Intercambiador con Fouling Microbiano.

Condiciones físicas y de nutrición.- al igual que las condiciones químicas que fomentan el metabolismo de los microorganismos, las condiciones físicas también afectan la velocidad del metabolismo; la temperatura desempeña un papel importante en la velocidad de crecimiento así como en el metabolismo de muchos microorganismos. ⁽²⁰⁾ Los organismo se dividen en tres tipos generales según su temperatura:

Psicrofilos: ambientes frios < a 20 °C

Mesofilos: entre 20 y 50 °C

Termofilos: altas temperaturas > a 50 °C

Los mesofilos son los más importantes desde el punto de vista de las aplicaciones del agua de enfriamiento.

Los microorganismo necesitan cantidades de Oxígeno muy variables, los tres tipos principales de microorganismos según sus respuestas y necesidades de oxígeno son:

Aerobios: Crecen en presencia de oxígeno.

Anaerobios: crecen en ausencia de Oxígeno Libre.

Anaerobios facultativos: Crecen en ausencia o presencia de oxígeno libre.

Para la mayoría de los microorganismos, el pH óptimo para el crecimiento está comprendido entre 6.0 y 9.0; Al desviarse el pH del intervalo óptimo, el entorno se hace cada vez mas hostil para la mayoría de los microorganismos e interfiere en cierto modo con su crecimiento. Sin embargo, en los sistemas de agua de enfriamiento, es necesario el control microbiano debido a que la mayoría de los sistemas operan en el intervalo de pH comprendido entre 6 y 9. Tchobanoglous, G.; Burton, F.L.; Stensel, H.D. (2003)

Los requisitos de Nutrición varían ampliamente entre los microorganismos, pero ciertos requisitos clave son característicos de los encontrados en los sistemas de agua de enfriamiento. Todos los microorganismos vivos requieren de una fuente de energía. Algunos microorganismos tales como las plantas verdes y las algas son capaces de usar la luz como fuente de energía. Algunos tienen la capacidad de usar compuestos inorgánicos reducidos tales como el azufre y el sulfuro de hidrógeno como fuente de energía; otros dependen de la oxidación de un elemento tal como el hierro. Tchobanoglous, G.; Burton, F.L.; Stensel, H.D. (2003)

Los microorganismos encontrados en los sistemas de enfriamiento son:

Bacterias:

- Bacterias aerobias formadoras de biopelículas.
- Bacterias corrosivas anaerobias.
- Bacterias depositadoras de Hierro.
- Bacterias Nitrificantes.

Algas.

Hongos.

En las figuras 13 y 14, se muestran un ejemplo de crecimiento de algas sobre las Torres de enfriamiento.



Figura 13 Charola de Torre con Algas



Figura 14 Crecimiento de algas en Torre.

El crecimiento microbiano es un problema muy recurrente en algunos sistemas de enfriamiento regularmente debe tratarse de manera continua ya que las torres son unas lavadoras de aire en ellas se quedan las bacterias, y el material particulado contenido en el aire; esto es el inicio de la formación de Bio-película

o biopelícula. A continuación se describirá estas biopelículas y sus características principales. Siyuan C. Morton, Yan Zhang, Marc A. Edwards (2004)

Formación de Bio - película:

•Todas las Bio-Películas tienen un rasgo en común: las células viven en asociaciones cercanas en la alta densidad y son integradas en una matriz orgánica de biopolímero, las sustancias poliméricas extracelulares (EPS, Figura 15) son producidos por los mismos organismos. Nalco Company; (2006)

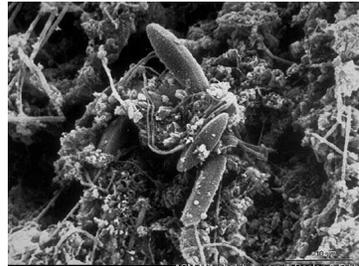


Figura 15 EPS Matriz Polimérica Extracelular Nalco Company; (2006)

Características de bio- película:

- La forma preferida de vida de microorganismos ocurre en conjuntos.
- En ambientes naturales, técnicos o médicos, cultivos puros son la excepción más bien que la regla.
- Es asumido que más del 99 % de los microorganismos sobre la Tierra vive en conjuntos.
- Fenomenológicamente, tales conjuntos pueden diferenciarse extensamente, en los límites de microcolonias ("Flocs") ó películas sobre superficies ("Bio-películas").
- Estos son encontrados aún en condiciones extremas como ejemplo en una gama de potencial de hidrógeno entre 0.5 y 14, temperaturas de -5 a 120°C, bajo la irradiación fuerte en los ciclos de refrigeración primarios de centrales nucleares, presión hasta 1,000 bar encontrado sobre el piso profundo del mar o fuerzas transversales como prevaleciendo en el punto de impacto de caídas de agua.

- Bio-películas se desarrollan prácticamente sobre cualquier superficie en el suelo natural y ambientes acuáticos, sobre los tejidos de plantas, animales y así como en sistemas artificiales.
- Los Bio-películas comúnmente son conectados a una superficie sólida (el sustrato) en interfaces sólidos de agua, pero ellos también pueden ser encontrados en la interface **aire agua** y en la interface de **aire sólido**.
- Los Bio-película representan las acumulaciones de microorganismos (prokaryotas y organismos eukaryotias unicelulares), EPS, cationes multivalentes, partículas inorgánicas, Material Biogenico (detritos), así como en compuestos coloidales y disueltos. Berk S. G. Et. All; (2006)
- Los polisacáridos son los componentes característicos del EPS, proteínas, ácidos nucleicos, lípidos y sustancias humicas también han sido identificadas, algunas veces en cantidades sustanciales.
- Las EPS son considerados como los componentes claves que determinan la integridad estructural y funcional de conjuntos microbianos.
- Las EPS están implicadas en la formación de un lodo, parecido a un gel, sumamente hidratado en el cual los microorganismos más o menos son inmovilizados. Berk S. G. Et. All; (2006)
- Las EPS son responsables de células anaerobias obligatorias y otros materiales particulados juntos y de anclar Bio-películas al sustrato.
- Las EPS crean un microambiente para las células sessiles condicionado en la naturaleza química de la matriz EPS. Berk S. G. Et. All; (2006)
- En general, la proporción de EPS en Bio-películas puede variar entre aproximadamente 50 y el 90 % de la materia orgánica Total. Berk S. G. Et. All; (2006)
- Un aspecto importante de Bio-películas es su heterogeneidad estructural y funcional con poros y canales.
- La figura 16 muestra una vista conceptual de un bio-película.

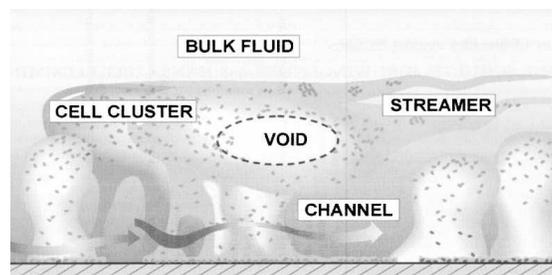


Figura 16 Vista Conceptual de un Bio-película . Berk S. G. Et. All; (2006)



Control de bio-películas con biocidas.

- Es bien reconocido que en la industria, las Bio-películas en las cuales existen las poblaciones microbianas sésiles, representan el grupo responsable de contaminación biológica.
- Lamentablemente, este es el grupo que es más difícil de controlar.
- Las Sustancias Poliméricas extracelulares (EPS) contribuyen a la integridad de la biopelícula y actúan como una barrera física impidiendo a los biocidas llegar a la célula viva.
- Los polímeros en los Bio-película también pueden consumir algunos oxidantes y no oxidantes antes de que lleguen a destruir a los microorganismos.
- Como resultado, el control de Bio-películas requiere dosis varias veces mayor de lo necesario para el control de los organismos planctónicos. Myoung G. H.; Katayama, H.; Ohgaki, S. (2007)
- En la práctica, el rápido rebrote o reaparición de Bio-película y la proliferación sugiere cualquier insuficiente control de régimen de tratamiento.
- Incluso la limpieza mecánica no elimina todos los rastros de las Bio-películas. Anteriormente Eliminado y las superficies limpias o tratadas son más rápidamente colonizadas que las nuevas superficies. Berk S. G. Et. Al; (2006)
- Los materiales residuales de las Bio-películas promueven la colonización y reducen el tiempo que transcurre de contaminación biológica significativa y ésta reaparece.
- El oxígeno y los nutrientes transportados por el agua se difunden a través de la Bio-película. Siyuan C. Morton, Yan Zhang, Marc A. Edwards (2004)

Legionella

Una razón importante para usar biocidas en torres de enfriamiento es para prevenir el crecimiento de la Legionella la cual es una bacteria Gram Negativa. De los tipos de bacteria que se encuentran en este género, destaca la *L. pneumophila*, la cual es la principal responsable de la legionelosis en los humanos. Myoung G. H.; Katayama, H.; Ohgaki, S. (2007)

Las variadas especies de *Legionella*, que son la causa de la "enfermedad del legionario" en el hombre son transmitidas mediante la exposición a aerosoles en sistemas de refrigeración. La inhalación de pequeñas gotitas de estos líquidos conlleva a una infección. Myoung G. H.; Katayama, H.; Ohgaki, S. (2007)



Lugares comunes donde se producen los contagios incluyen torres de enfriamiento, sistemas de agua caliente doméstica, aire acondicionado, diseminadores de agua, sistemas de distribución de aguas como toberas, duchas y equipos relacionados. En la naturaleza se pueden encontrar en charcos de agua y superficies de agua dulce. Myoung G. H.; Katayama, H.; Ohgaki, S. (2007)

Investigadores franceses encontraron que la *Legionella* se dispersaba a través del aire sobre los 6 km desde una torre de enfriamiento contaminada en una planta petroquímica en Pas de Calais, Francia. Myoung G. H.; Katayama, H.; Ohgaki, S. (2007)

La enfermedad mató a 21 personas de las 86 que se confirmaron infectadas en el laboratorio.

La salpicadura en las torres de enfriamiento y algunos condensadores evaporativos se produce en la descarga del agua desde los distribuidores de agua hacia el interior del equipo, lo cual genera pérdida de agua hacia el exterior del equipo y la dispersión potencial de la bacteria. Para evitar esta situación, se cuenta con eliminadores de gotas, de diversos tipos y materiales, los cuales se ubican en el lugar donde se produce la salida de aire desde la torre de enfriamiento, El diseño especial de los eliminadores de gotas permiten capturar gran parte de las gotas de agua arrastradas por la corriente de aire. Un típico eliminador de gotas entrega múltiples cambios de dirección del flujo de aire previniendo el escape por arrastre. Un buen eliminador de gotas en buen estado puede reducir considerablemente la pérdida de agua y el potencial de exposición hacia la legionella u otro producto químico, como el amoníaco en algunos equipos. Myoung G. H.; Katayama, H.; Ohgaki, S. (2007)

La infección por Legionella puede presentarse como neumonía típica o como una enfermedad febril sin focalización pulmonar denominada Fiebre de Pontiac. La bacteria se encuentra muy diseminada en la naturaleza, en ambiente acuático. Llamativo es que la bacteria requiere para multiplicarse encontrarse dentro de amibas. La infección humana solo es un accidente por la entrada de la legionella en el pulmón y al encontrarse con los macrófagos alveolares en los cuales puede multiplicarse. Berk S. G. Et. All; (2006)



2.3 Tipos de tratamiento para sistemas de enfriamiento.

2.3.1 Mecánicos.

Los métodos mecánicos más eficaces usados para el control de las **incrustaciones** son los siguientes:

- Aumento de la velocidad de flujo a un mínimo de 0.6 m/s (2 pies/s) o estableciendo unas de las condiciones de flujo turbulento. Las velocidades de flujo inferiores a las mencionadas son lo suficientemente lentas como para permitir que el agua se caliente demasiado así pues el potencial de formación de incrustaciones es mayor.
- Inyección periódica del aire para desprender o eliminar las incrustaciones o depósitos. Este método es muy eficaz para prevenir y eliminar depósitos en los casos de flujo lento tales como ocurre en el lado de la carcasa de un intercambiador de calor.
- Modificación del diseño del intercambiador de calor. Es preferible, desde el punto de vista del tratamiento del agua, tener el agua de enfriamiento en el lado de los tubos.
- Cambios de composición metalúrgica de la superficie de transferencia de calor.
- Reducción de flujo calórico reduciendo la carga térmica del proceso o aumentando el tamaño del intercambiador de calor.

Los métodos mecánicos más eficaces usados para el control de la **corrosión** son los siguientes:

- El uso de materiales resistentes a la corrosión, evitar pares galvanicos de mezclas de aleaciones.
- Barreras inertes separar un metal del agua usando barreras inertes, es común revestir las piezas seleccionadas de algunos sistemas.
 1. Barreras Orgánicas.
 2. Revestimientos metálicos.
 3. Barreras vitreas.
- Ánodos de Sacrificio reducen el ataque de la corrosión y son eficaces contra la corrosión de pares galvanicos.



Los métodos mecánicos más eficaces usados para el control del **ensuciamiento** son los siguientes:

- La filtración de corrientes laterales constituye un método eficaz de reducir a un mínimo los problemas causados por materia en suspensión.
- Los deflectores del lado de la carcasa de un intercambiador están diseñados para reducir a un mínimo las vibraciones de los tubos y reducen a un mínimo el potencial de corto circuitos ya que obligan al líquido a circular siguiendo una trayectoria específica.
- La inyección de aire comprimido. La introducción de una corriente de aire comprimido en el flujo de agua debe realizarse siempre que el intercambiador tenga un historial de ensuciamiento.
- Inversión de flujo (Retrolavado), la inversión de flujo a través de un intercambiador es otro método para desalojar la materia en suspensión.

Los métodos mecánicos más eficaces usados para el control del **ensuciamiento microbiano** son los siguientes:

Las torres de enfriamiento ocasionalmente están diseñadas y construidas para reducir a un mínimo los problemas microbianos. Una práctica utilizada en la construcción es utilizar relleno de plástico y eliminadores de niebla para reducir los problemas de hongos asociados normalmente con la madera. No obstante, los soportes y pisos de las torres de enfriamiento siguen construyéndose normalmente de madera, por lo que aun se sigue necesitando cierto control de los hongos. Algunas torres de enfriamiento tienen pisos cerrados para inhibir el crecimiento de algas. Al bloquear la luz solar, la fuente de energía de las algas, se reduce al mínimo y los problemas asociados normalmente con el crecimiento de algas.

Un estanque de torre de enfriamiento mal diseñado o con mal mantenimiento acumulará una capa espesa de lodos conteniendo sólidos en suspensión y material orgánico sedimentado, lugar ideal para los microorganismos, particularmente los anaerobios. Estos barros pueden ser una fuente principal de contaminación del sistema de enfriamiento. El estanque de enfriamiento debe inspeccionarse y limpiarse periódicamente. Los estanques bien diseñados y con buen mantenimiento no producirán contaminación microbiana en el sistema de enfriamiento.



2.3.2 Operacionales.

Los métodos operacionales más eficaces usados para el control de las **incrustaciones** son los siguientes:

- Limitando la concentración de las especies iónicas críticas haciendo que sus concentraciones en el agua de enfriamiento sean menores que las necesarias para formar incrustaciones. De esta forma se impide que se excedan las solubilidades de las especies incrustantes. Esto se puede lograr pretratando el agua, ablandándola con zeolita o cal, eliminando iones o limitando los ciclos de concentración de la torre por medio de purgas para reducir la concentración de los iones productores de incrustaciones.
- Reduciendo la alcalinidad o el pH con ácido. Esta es una manera de eliminar iones, ya que se eliminan los iones carbonato y bicarbonato convirtiéndose en CO_2 . una ppm de ácido sulfúrico concentrado elimina 1 ppm de alcalinidad M.

Los métodos operacionales más eficaces usados para el control de la **corrosión** son los siguientes:

- Ajustes en la composición química del agua, pH y Conductividad.

La corrosión avanza más rápidamente en el ánodo, donde los productos de corrosión tales como el Hierro y cobre son solubles en el electrolito. La solubilidad del cobre y el hierro aumentan al disminuir el pH. El acero dulce se oxida con más facilidad en condiciones ácidas que alcalinas. La diferencia de potencial entre microánodos y microcátodos es mayor en el lado ácido. Debe considerarse el efecto del pH en la corrosión al desarrollar un programa.

El agua de enfriamiento es el electrolito de una pila de corrosión. La teoría actual sobre la función que desempeña la conductividad (en lo que se refiere a iones no alcalinos, es decir, cloruros y sulfatos) en la corrosión se basa en tres factores:

1. Los iones agresivos tales como los cloruros y sulfatos pueden destruir las películas de óxido.
2. Los iones pueden concentrarse debajo de los depósitos formando una corrosión localizada.
3. Los iones en solución emigran a diferentes partes de la superficie metálica para mantener la neutralidad eléctrica del sistema. (cuanto mayor sea el número de iones presentes en una solución, mayor será la velocidad a la



que se logre la neutralidad eléctrica, permitiendo que la corrosión avance a un ritmo más rápido.

- Es de suma importancia como controles operacionales mantener un control en el rango de pH y en las purgas mediante controladores de conductividad en los sistemas de enfriamiento.

Los métodos operacionales más eficaces usados para el control del **Ensuciamiento** son los siguientes:

- Limpieza por aspiración de los estanques de las torres en los sistemas con gran concentración de sólidos en suspensión, la mejor condición es que los sólidos sedimenten en el estanque de la torre en vez de en los intercambiadores de calor.
- Relaciones espaciales, la relación espacial entre la torre de enfriamiento, el sistema de distribución y los intercambiadores de calor se denomina relación espacial. Esto significa simplemente que un intercambiador está ubicado en el espacio con relación a otro equipo. Esta relación normalmente es fija, y no hay mucha libertad para efectuar cambios. Sin embargo esta relación puede tener una influencia importante en el rendimiento del sistema.

Los métodos operacionales más eficaces usados para el control del **Ensuciamiento microbiano** son los siguientes:

- Control de hojas y otros desechos que entra al sistema.
- Control de Aves; las aves juegan un factor importante aquí debido a que son vectores de enfermedades, defecan cerca de las torres y algunas que llegan a beber agua en las torres caen en el sistema.
- Estos factores se complementan con los anteriores para mantener un buen control operacional de Incrustación, corrosión, Ensuciamiento y crecimiento Microbiano.



2.3.3 Tratamiento químicos.

2.3.3.1 Tipos de inhibidores de incrustaciones

Los inhibidores químicos de incrustaciones pueden actuar de varias maneras
Martínez, V. J.; (2002).

- Inhibición umbral.
- Modificación del cristal.
- Quelación.
- Dispersión.
- Acondicionamiento para formar lodos en vez de incrustaciones duras.

Compuestos orgánicos del Fósforo.- estos compuestos son los más usados para impedir la formación de incrustaciones de calcio y de hierro en sistemas de recirculación abiertos. Por lo general de 0.5 a 0.6 ppm de fósforo orgánico como PO_4 proporcionará suficiente inhibición para el carbonato de calcio o el sulfato de calcio. Los aditivos están formulados para asegurar que haya concentraciones suficientes de inhibidores de incrustaciones. Entre los más usados son los siguientes
Martínez, V. J.; (2002).

Poliol ester (POE)

Fosfato Trietanolamina (TEAP)

Ácido Aminotris metileno fosfónico (AMP)

Ácido Hidroxietilideno Difosfónico (HEDP)

Ácido fosfonobutano tricarbónico (PBTC)

Fosfatos Inorgánicos.- Los polifosfatos son inhibidores de incrustación usados en sistemas de paso único tales como plantas de tratamiento de agua potable. Su función principal es inhibir el carbonato de calcio por acción umbral, manteniendo en solución de 100 a 200 ppm de $CaCO_3$ con 1 a 2 ppm de Fosfato
Martínez, V. J.; (2002).

Acrilatos.- los acrilatos inhibidores de incrustaciones más comunes son los polímeros basados en el ácido acrílico o metilacrilatos y rinden al máximo cuando su peso molecular varía entre 1000 y 3000. su ventaja principal en comparación con los compuestos de fósforo es que no se descomponen en ortofosfatos que contribuyen al potencial de formación de incrustaciones.
Martínez, V. J.; (2002)



En las Figuras 17 y 18 se muestran imágenes con modificación de cristales o con inhibidor y la otra sin modificación en los cristales.

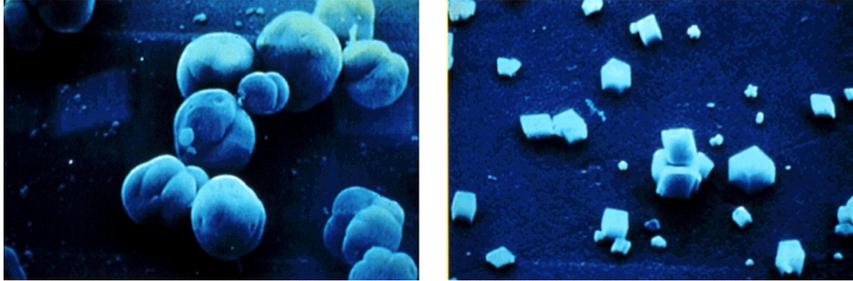


Figura 17 Estructura de cristales modificados. Figura 18 Estructura de cristales sin modificar. Nalco Company; (2006)



2.3.3.2 Tipos de inhibidores de corrosión.

Forma en que actúan los inhibidores de incrustación.- un programa de control de corrosión eficaz depende normalmente de inhibidores específicos para detener la reacción anódica, disminuir la reacción catódica o hacer ambas cosas a la vez. Los inhibidores más comunes usados como protectores contra la corrosión en sistemas de agua de enfriamiento se muestran en la tabla 3; aunque estos inhibidores se citan como anódicos o catódicos, los mecanismos exactos de funcionamiento no se conocen exactamente. En varios casos, un inhibidor puede mostrar características tanto anódicas como catódicas, pero una de ellas puede predominar sobre la otra ^{Nalco Company; (2006)}.

Tabla 3 – Inhibidores de corrosión típicos ^{Nalco Company; (2006)}

Principalmente anódicos	Principalmente catódicos
Cromato	Carbonato
Nitrito	Polifosfato
Ortofosfato	Fosfonato
Bicarbonato	Zinc
Silicato	--
Molibdato	--
Tanto anódicos como catódicos	
Son formadores de películas orgánicas	

Cuando se introdujeron los inhibidores por primera vez en sistemas de agua, frecuentemente estaban compuestos por componentes aislados activos. Con el tiempo, se ha demostrado que algunos ingredientes mejoran el rendimiento de otros por el principio de sinergismo.

Por ejemplo: cuando se usa solo cromato, se necesitan típicamente de 100 a 300 ppm para impedir la corrosión en un sistema de recirculación abierto. El fosfato combinado con el Zinc, varios fosfatos orgánicos e inorgánicos, o molibdatos proporcionan resultados mejores o iguales a concentraciones de tan solo 10 a 30 ppm de cromato. Algunos sistemas operan en la actualidad con mucho éxito con menos de 10 ppm de cromato. Logro que sería imposible sin los suplementos y tecnología eficaces desarrollados recientemente. ^{Kemmer, F.N. (1988)}

Del mismo modo se puede hacer algunas mezclas con los inhibidores de incrustación formando productos multifuncionales que actúan como inhibidores de Corrosión e Incrustación, en la Figura 19 se muestra un ejemplo de comparación en tramos de tubería protegida contra una con presencia de corrosión.

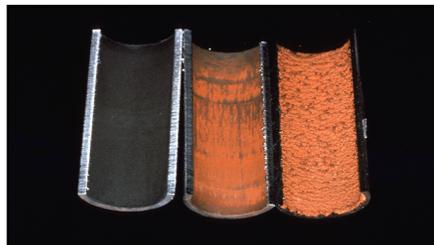


Figura 19 ejemplo de tuberías pasivadas y sin pasivar. ^{Herro, H.M.; Port, Robert D. (1993)}



Los inhibidores anódicos se dividen en dos principalmente Inhibidores anódicos de oxidación e Inhibidores anódicos formadores de precipitados y películas.

Entre los anódicos de oxidación están los Cromatos y nitritos. El Ion cromato es un agente oxidante fuerte que acelera la oxidación del Ion ferroso a férrico formando rápidamente una capa muy delgada y muy adherente casi invisible de oxido de hierro; el nitrito oxida las superficies de acero dulce formando una capa de productos de corrosión extremadamente delgada y muy tenaz de una manera similar al cromato. Se necesitan concentraciones mucho mayores de nitrito en comparación con las de cromato. Los nitritos se usan principalmente en sistemas cerrados. Las mezclas de inhibidores basadas en nitritos están tamponadas normalmente entre valores de pH de 8 y 11. Kemmer, F.N.; Mc Callion, J. (1989)

Entre los inhibidores anódicos formadores de precipitados y películas, se encuentran los ortofosfatos, silicatos, bicarbonatos, molibdatos. El ortofosfato forma un complejo insoluble con los iones metálicos disueltos tales como el Hierro que se deposita en las zonas anódicas; los silicatos reaccionan con los iones de metal disueltos en el ánodo. El complejo resultante de Ion metálico/silicato forma un gel que se deposita en las zonas anódicas. Los bicarbonatos/carbonatos pueden funcionar como un inhibidor anódico si está presente en una concentración suficientemente alta. La tecnología de los molibdatos es bastante nueva, y solo recientemente se ha averiguado que los molibdatos pueden usarse como inhibidores de corrosión. Almeraya C. F.; Gaona. Citalli. Et. All. (2000)

Los inhibidores catódicos.- normalmente se usan tres tipos de inhibidores catódicos en los sistemas de agua de enfriamiento; zinc polifosfatos y alcalinidad; los iones solubles de zinc cargados positivamente son atraídos a áreas catódicas debido al entorno iónico negativo de la superficie; los polifosfatos ligan los iones de calcio, zinc y otros iones divalentes para formar una película coloidal cargada positivamente. Este complejo cargado positivamente emigra a las zonas catódicas, donde precipita para formar una película inhibidora de corrosión; cuando el agua de enfriamiento contenga suficiente calcio y alcalinidad a un pH alto hay que tener en cuentas las incrustaciones debidas al carbonato de calcio. El alto pH localizado causado por la formación de OH en el cátodo puede aumentar el potencial de formación de incrustaciones. De la Cruz. R. A.; (1997)

2.3.3.3 Tipos de inhibidores químicos de ensuciamiento.

Los inhibidores de ensuciamiento químicos completan el programa total para reducir a un mínimo el potencial de ensuciamiento de un sistema de agua de enfriamiento. Los inhibidores de ensuciamiento se clasifican en tres grupos principales.



- Dispersión por refuerzo de cargas o estabilización estérica.
- Reducción de la tensión superficial.
- Agentes quelantes.

Refuerzo de cargas.- Los sólidos en suspensión de los sistemas de enfriamiento tienen una cierta probabilidad de colisión. Si dos partículas chocan, con frecuencia quedan adheridas entre sí, a esto se le denomina aglomeración. Al aglomerarse las partículas, el tamaño y peso de las mismas aumenta. Al continuar este proceso, disminuye la capacidad de la partícula de permanecer en suspensión en el agua y aumenta el potencial de sedimentación. Específicamente la dispersión es un proceso usado para impedir la precipitación de sólidos el uso de este término implica la existencia de un material sólido que no sedimenta en un periodo especificado. La dispersión puede producirse por la repulsión de las partículas, que debido a las cargas electrostáticas o efectos estéricos de las partículas resultantes serán lo suficientemente pequeñas como para producir una solución estable. Los productos químicos que son adsorbidos por las partículas y aumentan la carga existente, a los que se denominan reforzadores de carga. Kemmer, F.N.; Mc Callion, J. (1989)

Reducción de la tensión superficial.- las moléculas del agua se atraen entre sí con gran fuerza, y se alinean en la superficie. Esta fuerte atracción crea tensión superficial, los productos químicos usados para reducir la tensión superficial tienen un extremo hidrófilo y un extremo hidrófobo. El extremo hidrófobo cuando entra en contacto con el agua de enfriamiento, es repelido por el agua y es forzado a concentrarse en la superficie externa del agua. Esta es la forma en que un surfactante descompone las fuerzas de atracción del agua en la superficie y reduce la tensión superficial. Cuanto menor sea la tensión superficial, menor será la energía necesaria para hacer pasar una partícula a la fase acuosa. Se dice a veces que este fenómeno consiste en mejorar la humectabilidad. Kemmer, F.N. (1988)

Agentes quelantes. - el término Quelación se aplica generalmente al fenómeno por el que se mantienen en forma soluble iones y compuestos. Las dosis estequiométricas de inhibidor necesarias para este tipo de inhibición son muy costosas y no son las más indicadas para la mayoría de las aplicaciones de agua de enfriamiento. Kemmer, F.N.; Mc Callion, J. (1989)

2.3.3.4 Agentes químicos para el control microbiano.

Los agentes químicos usados para controlar las poblaciones de microbios pueden agruparse en tres clases generales: oxidantes, no oxidantes y biodispersantes. Kemmer, F.N.; Mc Callion, J. (1989)

Oxidantes.- los biocidas oxidantes comprenden compuestos tales como el cloro, bromo, dióxido de cloro, ozono, hipoclorito y compuestos orgánicos de cloro y bromo de desprendimiento lento. Aunque existen grandes diferencias químicas



entre estos compuestos, su forma principal de actuar consiste en oxidar los compuestos de los microorganismos. No se conoce ningún organismo que se haya hecho inmune o haya desarrollado otro tipo de resistencia a un biocida oxidante. Los oxidantes son eficaces contra todos los tipos de microorganismo importantes en el tratamiento de agua de enfriamiento; es decir bacterias, hongos, algas y levaduras. Chantereau, J. (1985)

No oxidantes.- este grupo comprende un gran número de compuestos orgánicos que interfieren con el metabolismo del microorganismo o perturban la membrana de la célula. Se creó que algunos actúan principalmente rompiendo y disolviendo las membranas de las células y otros desnaturalizando las proteínas.

A diferencia de los biocidas oxidantes, los agentes no oxidantes son más eficaces cuando se aplican en concentraciones altas a moderadas. A bajas concentraciones, la mayoría de estos compuestos se biodegradan rápidamente, es decir, los organismos son capaces de metabolizarlos. De hecho, los microorganismos pueden adaptarse a muchos biocidas no oxidantes y usarlos como fuente de carbono, y por tanto como sustancias nutritivas. Esta adaptabilidad es particularmente cierta si el organismo desarrolla una tolerancia si está expuesto a bajas concentraciones del biocida durante un periodo prolongado. Esta acumulación de tolerancia ha desembocado en la práctica de aplicar de forma alternativa distintos tipos de biocidas no oxidantes para impedir que se establezca una población resistente de microorganismos.

Un aspecto importante en el uso de este tipo de biocidas es su persistencia en el medio. Es necesario considerar las consecuencias al ambiente. Todos los biocidas no oxidantes deben usarse con controles cuidadosos para prevenir cualquier efecto perjudicial en los peces y otras formas de vida acuática. Los biocidas no oxidantes se diferencian con respecto a su eficacia contra tipos específicos de organismo y pH del agua. Muchos biocidas no oxidantes actúan solamente contra bacterias, hongos o algas. El pH también ejerce una influencia considerable en el carácter específico y actividad de cada biocida. A menudo se usa una combinación de productos cuando es necesario controlar distintos tipos de microorganismos en el agua de enfriamiento. Nalco Chemical Company; (1999)

Biodispersantes.- el uso de biodispersantes para mejorar el control microbiológico del sistema de enfriamiento constituye un aspecto importante de todos los programas de biocontrol. Estos productos no destruyen los microorganismos, si no que los ponen en suspensión en el agua para que puedan ser arrastrados fuera del sistema o ser destruidos con más facilidad por los biocidas. Los dispersantes también previenen o retardan la adhesión de los microorganismos a las superficies de transferencia de calor y colaboran en el mantenimiento de la limpieza del sistema. Chantereau, J. (1985)



2.4 Legislación Ambiental

2.4.1 Normatividad.

Actual mente no hay norma que regule estos sistemas de enfriamiento las normas ambientales que se relacionan con el uso del agua en la industria son:

NOM-001-SEMARNAT-1996 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES.

NOM-002-SEMARNAT-1996 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO URBANO O MUNICIPAL

NOM-003-SEMARNAT-1997 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PÚBLICO.

2.4.2 Legislación Ambiental.

Debido al deterioro ambiental provocado principalmente por las actividades del hombre, se ha impactado la calidad de vida dañando severamente la calidad del agua en los cuerpos receptores, con el consiguiente daño y la desaparición en algunos casos de la vida acuática, contaminación de acuíferos y alteraciones preocupantes en el suelo; ante estas situaciones tan difíciles, tanto el gobierno Federal como el estatal han generado leyes para mantener el equilibrio ecológico y preservación y mejoramiento del medio. Es así que en 1989 la Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología, publicó la Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, en materia de prevención y control de la contaminación a la atmósfera y residuos peligrosos.

2.4.3 Ley General de Equilibrio Ecológico.

Establece, conjuntamente con los reglamentos respectivos, las disposiciones para abatir la contaminación del agua suelo y atmósfera.

La ley general, contempla la protección al ambiente y con ello la salud del hombre, fija los límites de contaminantes para emisiones a la atmósfera, los residuos peligrosos, la conservación de los suelos a los que dedica artículos específicos: en lo referente al agua en el título tercero “aprovechamiento racional de los elementos naturales”



Capitulo III Metodología

La metodología de la presente tesis estuvo integrada por las actividades que se presentan en los siguientes puntos.

- Análisis de datos del sistema.
- Toma de muestras de agua.
- Análisis de las muestras de agua.
- Selección del programa de aplicación.
- Evaluación de las cargas contaminantes.

3.1 Análisis de datos del sistema.

El análisis de los datos de los sistemas, consiste en ver la tendencia histórica del sistema a incrustaciones, corrosión o ensuciamiento en los sistemas seleccionados para las pruebas.

3.2 Toma de muestras.

Las tomas de muestras son realizadas en base a un programa que se muestra a continuación en la Tabla 4:

Tabla 4 – sistemas analizados.

Sistema	Tipo de Monitoreos	Fechas
Condensador Evaporativo J1	FQ, Biológico	Diciembre 2007
Torre de Enfriamiento S3	FQ, Biológico	Enero 2008
Torre de Enfriamiento S4	FQ, Biológico	Enero 2008
Torre de Enfriamiento M3	FQ, Biológico	Marzo 2008

3.3 Análisis del agua.

El análisis del agua consistió en determinar los parámetros que se presentan en la tabla 5 según las normas Mexicanas o las técnicas recomendadas en el método normalizado para el análisis de aguas residuales y potables.

Tabla 5 – Parámetros medidos.

Parámetro
pH
Conductividad
Fierro Total
Halógeno
Dureza Total
Dureza de calcio
Dureza de Magnesio
Alcalinidad F
Alcalinidad M
Sulfatos
Cloruros
Turbiedad
Sílice

3.4 Selección del programa de aplicación.

Los programas de tratamiento químicos son seleccionados en base a dureza y alcalinidad principalmente y en base a restricciones de uso por políticas ambientales; en este trabajo se seleccionaron manualmente y en base a algunos programas de compañías especialistas en tratamiento de agua.



3.5 Evaluación de carga contaminante.

La evaluación de la carga contaminante, se realizó principalmente tomando como base los de aspectos limitantes, operacionales y de diseño, lugar o programas; se analizaron en cada sistema volúmenes de agua y biodegradabilidad de los productos químicos usados según su función.

Capítulo IV Resultados y análisis de resultados

4.1 Resultados

4.1.1.- Sistema Condensador Evaporativo J1

Condiciones del sistema:

Empaque de alta eficiencia.

Se observa que el empaque de alta eficiencia presenta lodo e incrustaciones con coloración amarilla.

Corrosión galvánica en intercambiadores de calor.

Cuando se logró destapar un intercambiador de calor de Tubo y coraza lado tubo, los flux se observan que son de cobre y el espejo de acero y que muestra una evidente corrosión galvánica, ver figura 20.

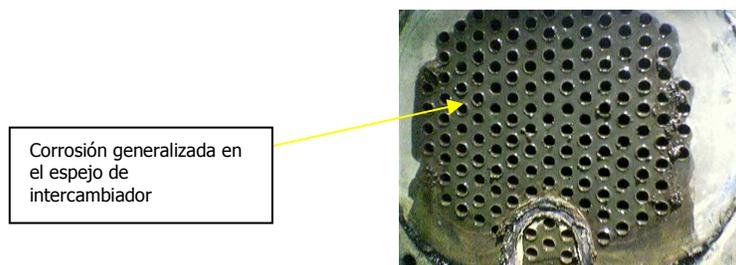


Figura 20 corrosión generalizada en el espejo del intercambiador por combinación de materiales.

Presencia de algas.

Se observa presencia de algas en las orillas de las zonas húmedas.

Presencia de lodos en la cisterna.

Se observa en el fondo de la cisterna del equipo de enfriamiento un exceso de lodos con presencia de lodo negro.

Presencia de biopelícula.

Se observan algunas áreas de la tubería y sistemas con biopelícula.



Corrosión bajo depósito.

Hay en algunas áreas después de limpiar el depósito o la biopelícula efecto de corrosión por picadura.

Presencia de depósitos minerales MgSiO₃

Se observa un tipo de incrustación relativamente duro se analizó y se determinaron valores de SiO₂ de 1000 ppm.

En la tabla 6, se indican los valores de tres muestreos realizados en este equipo con una frecuencia mensual para el análisis físico químico:

Tabla 6 – Parámetros medidos en Sistema J1

Sistema Condensador 1	pH	Conductividad [μmohs]	Fe [ppm]	Hal Libre [ppm]	PO4 [ppm]	SO4 [ppm]	Cl - [ppm]	SiO2 [ppm]	D Ca [ppm CaCO3]	D To [ppm CaCO3]	Tz	Ciclos de Concentración
Muestreo 1	8.81	4430	0.8	0.93	3.5	786	1234	252	2	12	24	6.15
Muestreo 2	9.42	21300	1.08	0.42	4.3	4210	6850	319	72	220	147	29.58
Muestreo 3	8.98	1970	1.87	0.83	0.5	240	648	249	2	16	16	2.74

En la tabla 7, se presentan un promedio de los tres valores del agua de repuesto se promedia debido a que los valores son muy similares sin variación significativa.

Tabla 7 – Parámetros medidos en agua de repuesto de Sistema J1

	PH	Conductividad [μmohs]	Fe [ppm]	SiO ₂ [ppm]	Alc. M (ppm)	Alc. F (ppm)	Cl ⁻ [ppm]	D Ca [ppm]	D To [ppm]	PO ₄ [ppm]
Repuesto Suavizada	7.50	723	0.9	113	320	0	127	0	80	0.6

En las tablas 6 y 7, los valores marcados en Rojo se considera de importancia para el tratamiento, se comentará a detalle en el análisis de resultados.

En la figura 21, se muestra el comportamiento de las condiciones corrosivas del agua en el sistema medido en MPY's (Milésimas de Pulgada al Año), Nota Importante, ésta mide las condiciones corrosivas del agua en el momento, no así que esté presentándose corrosión en el sistema.

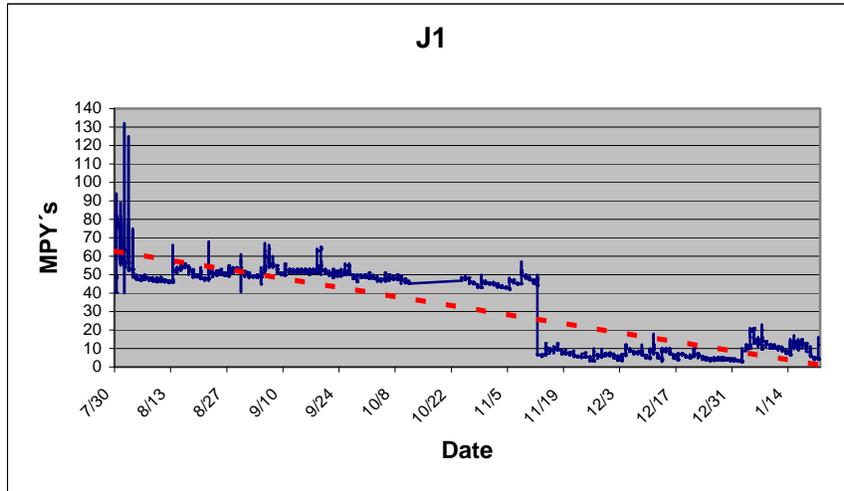


Figura 21.- Valores de MPY's del sistema J1

Análisis Biológico:

En la tabla 8, se muestran los resultados de los análisis Biológicos:

Tabla 8 – Parámetros Microbiológicos medidos en Sistema J1.

	Conteo Total	No Esporog.	B.Esporogenas	Desulfovibrio	Clostridia	E.coli	Hongos	Levaduras
J1	2,600,000	1,500	30	25	25	1	1	1

4.1.2.- Sistema S3 este sistema es una torre de Enfriamiento.

Condiciones del sistema:

Presencia de lodos en intercambiadores de calor.

Se observan lodos en el intercambiador de calor en una revisión de paro.

Presencia de lodos en el bacín.

Se revisa periódicamente la presencia de lodo en el fondo del bacín de la torre en este caso ya hay un exceso de lodos.

Zonas de Bajo Flujo.

Se observan zonas de bajo flujo por diseño del sistema de agua de enfriamiento.

Contaminación por gases en la Torre.

Se encuentra Chimeneas de secadores cerca de la torre.

En la tabla 9, se indican los valores de tres muestreos realizados en este equipo con una frecuencia mensual para el análisis físico químico:



Tabla 9 – Parámetros medidos en Sistema S3

Sistema Torre S3	pH	Conductividad [μmohs]	Fe [ppm]	Hal Libre [ppm]	PO4 [ppm]	SiO2 [ppm]	D Ca [ppm CaCO3]	D To [ppm CaCO3]	Tz	Ciclos de Concentración
Muestreo 1	7.81	5670	2.1	0.4	8	12	86	780	13	3.30
Muestreo 2	7.72	5860	2	0.36	9	10	88	690	15	3.41
Muestreo 3	7.59	5760	2.3	0.28	8	12	94	870	12	3.35

En la tabla 10, se presentan un promedio de los tres valores del agua de repuesto se promedia debido a que los valores son muy similares sin variación significativa.

Tabla 10 – Parámetros medidos en agua de repuesto de Sistema S3

	PH	Conductividad [μmohs]	Fe [ppm]	SiO ₂ [ppm]	Cl ⁻ [ppm]	D Ca [ppm]	D To [ppm]	PO ₄ [ppm]
Repuesto	8.97	1720	0.2	4	427	32	230	0.0

En las tablas 9 y 10, los valores marcados en Rojo se considera de importancia para el tratamiento se comentara a detalle en el análisis de resultados.

En la figura 22, se muestra el comportamiento de las condiciones corrosivas del agua en el sistema medido en MPY's (Milésimas de Pulgada al Año) Importante mide las condiciones corrosivas del agua, no sí está habiendo corrosión en el sistema.

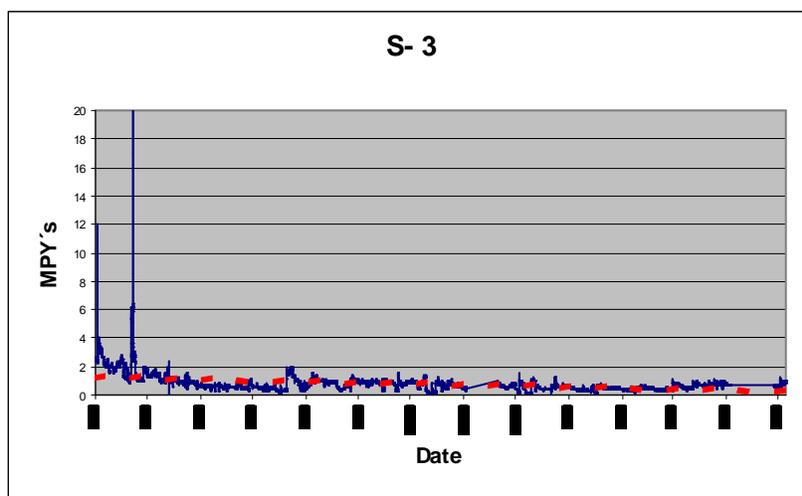


Figura 22.- Valores de MPY's del sistema S3.

Análisis Biológico:

En la tabla 11, se muestran los resultados de los análisis Biológicos:

Tabla 11 – Parámetros Microbiológicos medidos en Sistema S3.

	Conteo Total	No Esporog.	B.Esporogenas	Desulfovibrio	Clostridia	E.coli	Hongos	Levaduras
S-3	70,000	30	20	5	3	0	0	0



4.1.3 .-Sistema S4, este sistema es una torre de Enfriamiento.

Condiciones del sistema:

Presencia de Lodos en intercambiadores de calor.

En un paro de producción se revisó un intercambiador de calor del sistema de enfriamiento y se observa un exceso de lodos en el la tapa del intercambiador.

Presencia de algas en las Charolas de Distribución.

Se observa un desarrollo de algas en las Charolas de distribución de la torre.

Presencia de lodos en el bacín.

En el fondo del Bacín se observa un desarrollo de lodos en cierta forma aceptable.

Zonas de Bajo Flujo.

Se encuentran zonas de bajo flujo en el sistema de enfriamiento.

Contaminación por gases en la Torre.

Se encuentra cerca de la torre una chimenea la cual se observa una contaminación frecuente con valores de sulfatos de 1500 a 2000 ppm.

En la tabla 12, se indican los valores de tres muestreos realizados en este equipo con una frecuencia mensual para el análisis físico químico:

Tabla 12 – Parámetros medidos en Sistema S-4

Sistema Torre S4	pH	Conductividad [µmohs]	Fe [ppm]	Hal Libre [ppm]	PO4 [ppm]	SiO2 [ppm]	D Ca [ppm CaCO3]	D To [ppm CaCO3]	Tz	Ciclos de Concentración
Muestreo 1	8.12	6450	1.3	0.4	9	10	74	640	21	3.58
Muestreo 2	8.04	6380	0.43	0.4	11	12	68	700	25	3.54
Muestreo 3	7.98	6400	0.89	0.4	10	11	70	680	26	3.56

En la tabla 13, se presentan un promedio de los tres valores del agua de repuesto se promedia debido a que los valores son muy similares sin variación significativa.



Tabla 13 – Parámetros medidos en agua de repuesto de Sistema S-4

	PH	Conductividad [μmohs]	Fe [ppm]	SiO ₂ [ppm]	Cl ⁻ [ppm]	D Ca [ppm]	D To [ppm]	PO ₄ [ppm]
Repuesto	9.37	1800	0.32	3	475	38	200	0.0

En las tablas 12 y 13 los valores marcados en Rojo se considera de importancia para el tratamiento se comentara a detalle en el análisis de resultados.

En la figura 23, se muestra el comportamiento de las condiciones corrosivas del agua en el sistema medido en MPY's (Milésimas de Pulgada al Año) Importante mide las condiciones corrosivas del agua no si esta habiendo corrosión en el sistema

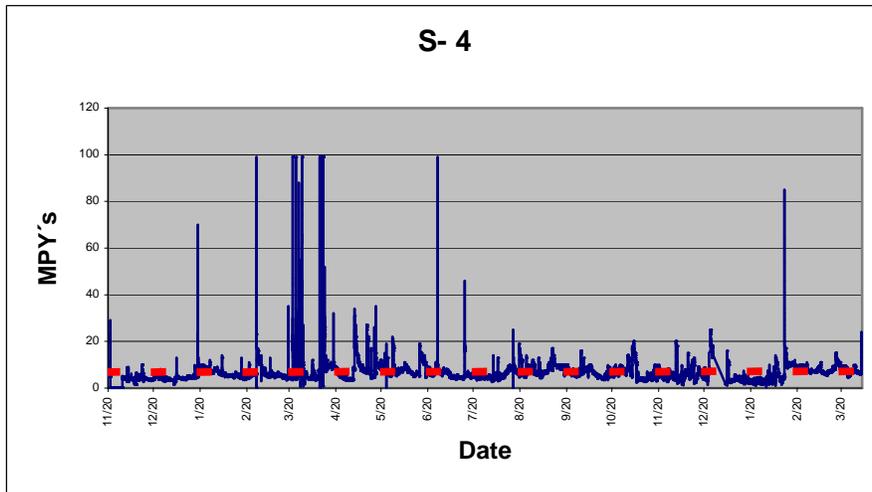


Figura 23.- Valores de MPY's del sistema S-4

Análisis Biológico:

En la tabla 14, se muestran los resultados de los análisis Biológicos:

Tabla 14 – Parámetros Microbiológicos medidos en Sistema S-4.

	Conteo Total	No Esporog.	B.Esporogenas	Desulfovibrio	Clostridia	E.coli	Hongos	Levaduras
S-4	270,000	90	70	25	23	0	0	0

4.1.4 .- Sistema M3 este sistema es una torre de Enfriamiento.

Condiciones del sistema:

Presencia de lodos en el bacín.

Se observa una presencia de lodos en el sistema aceptable.

Contaminación por gases en la Torre.



Se observa una chimenea cerca con residuos de proceso orgánicos principalmente.

En la tabla 15, se indican los valores de tres muestreos realizados en este equipo con una frecuencia mensual para el análisis físico químico:

Tabla 15 – Parámetros medidos en Sistema M-3

Sistema Torre M3	pH	Conductividad [μmohs]	Fe [ppm]	Hal Libre [ppm]	PO4 [ppm]	SiO2 [ppm]	D Ca [ppm CaCO3]	D To [ppm CaCO3]	Tz	Ciclos de Concentración
Muestreo 1	7.6	7134	0.4	0.5	4	121	54	144	12	8.92
Muestreo 2	7.56	7324	0.34	0.45	4	126	49	154	14	9.16
Muestreo 3	7.63	7232	0.41	0.43	4	129	39	150	12	9.04

En la tabla 16, se presentan un promedio de los tres valores del agua de repuesto se promedia debido a que los valores son muy similares sin variación significativa.

Tabla 16 – Parámetros medidos en agua de repuesto de Sistema M-3

	PH	Conductividad [μmohs]	Fe [ppm]	SiO ₂ [ppm]	Cl ⁻ [ppm]	D Ca [ppm]	D To [ppm]	PO ₄ [ppm]
Repuesto	9.37	800	0.02	18	270	8	20	0.5

En las tablas 15 y 16, los valores marcados en Rojo se considera de importancia para el tratamiento se comentara a detalle en el análisis de resultados.

En la figura 24, se muestra el comportamiento de las condiciones corrosivas del agua en el sistema medido en MPY's (Milésimas de Pulgada al Año) Importante mide las condiciones corrosivas del agua, no si está habiendo corrosión en el sistema

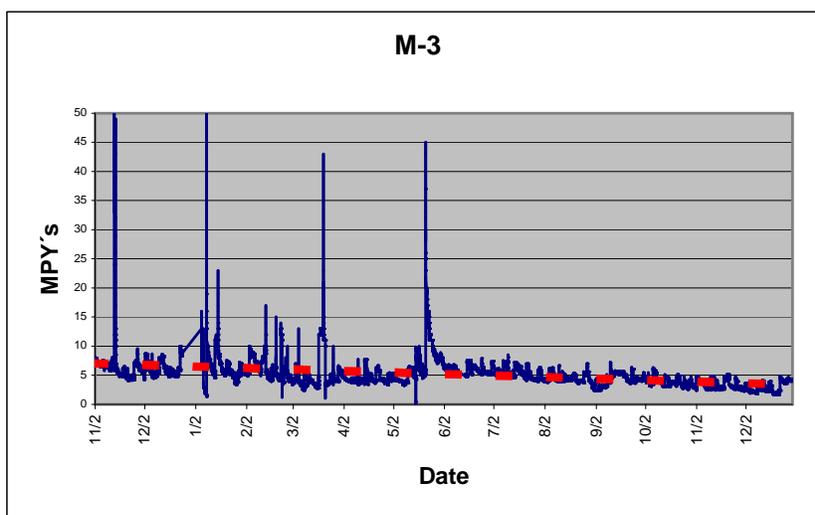


Figura 24.- Valores de MPY's del sistema M-3.



Análisis Biológico:

En la tabla 17, se muestran los resultados de los análisis Biológicos:

Tabla 17 – Parámetros Microbiológicos medidos en Sistema M-3

	Conteo Total	No Esporog.	B.Esporogenas	Desulfovibrio	Clostridia	E.coli	Hongos	Levaduras
M-3	30,000	3000	0	0	0	0	0	0

4.2 Análisis de Resultados

4.2.1 condiciones de los sistemas

En los sistemas estudiados se encontraron algunas condiciones en común que tienen repercusiones en la operación continua del sistema, la eficiencia de los equipos y esto como consecuencia cada condición negativa trae una consecuencia al ambiente; analizaremos una a una estas condiciones.

Es importante mencionar nuevamente que un sistema siempre se analiza en tres aspectos:

- 1) mecánico
- 2) Operacional
- 3) Químico. Por sus siglas en Inglés MOC.

Condición 1 .- *Empaque de alta Eficiencia.* El empaque de alta eficiencia es muy efectivo en cuanto a la transferencia de calor sin embargo tiene algunas de sus desventajas si la carga hidráulica es muy alta o es mayor a la que fue calculada, éste sufre una deformación lo que comúnmente cierra los espacios atrapando los sólidos que pueda contener el agua, en este sentido es muy importante mantener los valores de pH evitando que haya precipitación de algunos sólidos lo que podría ser el inicio de un punto de nucleación; si se mantienen las condiciones mecánicas y operacionales correctamente se evitaría tener un problema que Químicamente sería muy complicado y costoso resolver; Estos empaques de alta eficiencia pueden caer en cambiar su función a actuar como los filtros percoladores que se usan en los procesos de película biológica en el tratamiento de las aguas residuales, ver figura 25; si hay un buen control del sistema hay un gran número de dispersantes e inhibidores de incrustación que operando adecuadamente dan un excelente resultado.



Figura 25 Empaque de alta eficiencia contaminado y actuando como filtro.

Condición 2 .- *Corrosión Galvanica en Intercambiadores de Calor.* Se observa en algunos equipos en los que hay una combinación de materiales, ver figura 26, por ejemplo intercambiadores de calor con flux de cobre, lo que provoca una corrosión galvanica que no es controlable en su totalidad, en algunas ocasiones se aplican algunos métodos para minimizar el efecto con ánodos de sacrificio, cuando son equipos distintos la separación con bridas inertes puede minimizar el

efecto galvanico sin embargo es un problema de diseño Mecánico y tratar de arreglarlo químicamente resultaría muy costoso.



Figura 26 corrosión generalizada en el espejo del intercambiador por combinación de materiales.

Condición 3 .- *Presencia de algas en Charolas y Zonas Húmedas.* La presencia de algas en los sistemas de enfriamiento principalmente torres es casi inevitable, ya que son los productores o los precursores primarios de la vida, ver figura 27 , se requieren mínimas condiciones para la formación de estos organismos algunos compuestos y principalmente luz solar, entre los principales métodos mecánicos es cubrir las charolas de las torres de la luz solar, algunas veces cuando las charolas no se inundan totalmente y hay zonas solo húmedas son un lugar propicio para el desarrollo de estos microorganismos hay infinidad de Biocidas que con una correcta aplicación dan un buen resultado recalcando que si hay una aplicación deficiente el problema tiende a empeorar y como cada afecto negativo al sistema acarrea un Impacto al ambiente, por ejemplo; exceso de biocidas en las purgas, lo que muchas veces no soluciona el problema, y si lo empeora.



Figura 27 Charola de Torre con Algas

Condición 4 .- *Presencia de lodos en el Bacín.-* la presencia de lodos en el Bacín es un factor común en las torres de enfriamiento y en los condensadores Evaporativos, si hay una buena dispersión y un buen control de purga estos deben ser mínimos y pueden eliminarse con la purga de la torre, si la torre cuenta con la pendiente en el bacín o con un aspirado en la base del bacín o con una limpieza en la torre en algún paro; la presencia de lodos acarrea varios problemas, uno es un consumo de químicos porque estos se acumulan en los lodos, otro en que los lodos son ambientes anaerobios donde se dan procesos biológicos anaerobios en los cuales hay un desarrollo de bacterias sulfato reductoras que llegan a migrar al sistema y pueden contaminar alguna zona de bajo flujo lo que ocasionará corrosión por generación de subproductos de estos procesos anaerobios por ejemplo ácido sulfhídrico, ver figura 28.



Figura 28. Lodo Negro en el fondo de Bacín de la torre.

Condición 5.- Corrosión bajo deposito, Incrustación de especies químicas y formación de Biopelícula.- Estos aspectos van de la mano, la formación de Biopelícula y la Incrustación traen como consecuencia además una baja de eficiencia en los intercambiadores de calor, la corrosión bajo deposito, las zonas de bajo Flujo, Valores de pH fuera de control, y descontrol en la microbiología del sistema son factores que contribuyen a estos efectos. La aplicación de Biodispersantes inhibidores de incrustación en un buen programa químico, las condiciones mecánicas y operacionales adecuadas evitarían estas condiciones negativas en el sistema. Siempre siguiendo la recomendación Mecánico operacional y Químico. Por ejemplo algunas modificaciones mecánicas en zonas de bajo flujo o estancamientos con purgas periódicas en estos puntos.

Condición 6.- Incrustaciones por sílice o carbonatos.- el manejo de purgas automatizadas es un buen control operacional, lo que evitará sin duda con un buen análisis químico del sistema las condiciones incrustantes evitando llegar a los puntos de sobre saturación de compuestos o sólidos, así como pérdidas de agua por purgas innecesarias.

Condición 7 .- Contaminación por emisiones de Gases o chimeneas cercanas .- Las torres de enfriamiento son sin duda unas lavadoras de aire son benéficas para el medio ya que jalen los gases de las chimeneas cercanas a estas sin embargo para la torre no es tan benéfico pues resulta muchas veces ser muy perjudicial el incremento en valores de sulfatos, es un factor determinante en las características corrosivas del agua considerando el índice de Larson – Skold su explicación y calculo se puede observar en el apartado 2.2.2.2.

Por otro lado en algunos casos las chimeneas liberan partículas de harinas o grasas, lo que trae como consecuencia una contaminación orgánica excesiva y resulta costoso el control microbiano y toda la cadena que acarrea en el caso de semillas o harinas, incluso sin estos factores las torres son muy atractivas para las aves ya sea por las harinas o por el agua, un buen porcentaje de estas termina dentro de la torre lo que es una fuente contaminante ya en la torre las aves llegan a morir por los productos químicos, ver figuras 29, 30 y 31. Biocidas Multifuncionales biocidas no oxidantes etcétera; y estas son una fuente orgánica dentro de la torre y factores para el desarrollo excesivo de microorganismos.



Figura 29, 30 y 31. Aves desalojadas del empaque de una torre de enfriamiento.

Las torres de enfriamiento son incubadoras excelentes para el desarrollo de Legionella, este es un tipo de Bacterias que afecta a la salud de la gente que se encuentra en contacto periódico con estos sistemas.

4.2.2 Parámetros físico-químicos de los sistemas.

Entre los parámetros se seleccionaron algunos muy básicos como pH, Conductividad, halógeno Libre, Fierro, Fosfatos, Sílice, Dureza total , Dureza de Calcio, Turbidez y Ciclos de Concentración.

Es importante mencionar que cada sistema es distinto su comportamiento, es diferente y los parámetros de control son distintos, las condiciones de operación, los rangos recomendados de control son únicos para cada sistema se deba hacer un traje a la medida, para que cada sistema por las características del agua de repuesto, el tamaño del sistema, la carga térmica; La recomendación es hacer un levantamiento o reconocimiento del sistema Mecánico, Operacional, y químico; realizar las corridas necesarias de simulación con el programa de su elección hay muchos programas en Internet gratuitos, también hay que correr los índices de Ryznar, Langelier, Larson, entre otros y aplicar la experiencia de cada persona.

Adelante se analizará cada parámetro de los medidos y su importancia sin embargo es diferente en cada sistema, también por el programa de tratamiento químico que se tenga.

4.2.2.1.- pH

El pH del agua de enfriamiento es uno de los factores más importantes de un programa de control; la eficacia de un programa de tratamiento de agua depende de un control constante del pH y de la alcalinidad. La importancia de este parámetro obliga a monitorearlo casi continuamente.

Las grandes variaciones de pH en un sistema indican un desequilibrio peligroso de ácidos productores de corrosión y minerales productores de incrustaciones. En la mayoría de los casos se debe agregar ácido para mantener el pH dentro



del intervalo de control recomendado, ya que la concentración de minerales alcalinos en el agua de recirculación aumenta en la torre de enfriamiento durante el procesos de evaporación. Para controlar esta acumulación, se agrega continuamente un ácido apropiado tal como ácido sulfúrico a fin de contrarrestar los aumentos de pH y alcalinidad, no obstante este caudal de suministro debe controlarse cuidadosamente ya que una descarga accidental de ácido puede causar una baja de pH.

En el caso de las torres en cuestión los valores de pH se muestran a continuación:

En la tabla 18 se presenta el concentrado de los resultados de los cuatro sistemas en cuestión. En el sistema J1 que se encuentran valores de pH superiores a 8.5 esto puede resultar un problema crítico aunado a los ciclos de concentración, adelante se mostraran recomendaciones de un programa que se corre con la calidad del agua inicial de este sistema.

4.2.2.2.- Conductividad y Dureza.

Al aumentar la concentración de sólidos disueltos en un sistema de recirculación abierto, también aumentarán las lecturas de conductividad. Si no se controla, esta condición puede producir la subsiguiente formación de incrustaciones, reducción de transferencia de calor y un desperdicio de energía.

Todos los programas de agua de enfriamiento están diseñados para que funcionen dentro de los intervalos específicos de dureza; por lo que es importante que se lleve a cabo una prueba y se controlen las concentraciones del sistema.

Los intervalos correctos de conductividad y dureza se mantienen normalmente aumentando o disminuyendo el caudal de purga. Cuando las concentraciones son demasiado bajas se reduce la purga. Cuando las concentraciones son demasiado altas se aumenta la purga.



Tabla 18.- se muestran los resultados en general del muestreo de agua de recirculación.

Sistema Condensador J 1	pH	Conductividad [μmohs]	Fe [ppm]	Hal Libre [ppm]	PO4 [ppm]	SO4 [ppm]	Cl - [ppm]	SiO2 [ppm]	D Ca [ppm CaCO3]	D To [ppm CaCO3]	Tz	Ciclos de Concentración
Muestreo 1	8.81	4430	0.8	0.93	3.5	786	1234	252	2	12	24	6.15
Muestreo 2	9.42	21300	1.08	0.42	4.3	4210	6850	319	72	220	147	29.58
Muestreo 3	8.98	1970	1.87	0.83	0.5	240	648	249	2	16	16	2.74

Sistema Torre S3	pH	Conductividad [μmohs]	Fe [ppm]	Hal Libre [ppm]	PO4 [ppm]	SiO2 [ppm]	D Ca [ppm CaCO3]	D To [ppm CaCO3]	Tz	Ciclos de Concentración
Muestreo 1	7.81	5670	2.1	0.4	8	12	86	780	13	3.30
Muestreo 2	7.72	5860	2	0.36	9	10	88	690	15	3.41
Muestreo 3	7.59	5760	2.3	0.28	8	12	94	870	12	3.35

Sistema Torre S4	pH	Conductividad [μmohs]	Fe [ppm]	Hal Libre [ppm]	PO4 [ppm]	SiO2 [ppm]	D Ca [ppm CaCO3]	D To [ppm CaCO3]	Tz	Ciclos de Concentración
Muestreo 1	8.12	6450	1.3	0.4	9	10	74	640	21	3.58
Muestreo 2	8.04	6380	0.43	0.4	11	12	68	700	25	3.54
Muestreo 3	7.98	6400	0.89	0.4	10	11	70	680	26	3.56

Sistema Torre M3	pH	Conductividad [μmohs]	Fe [ppm]	Hal Libre [ppm]	PO4 [ppm]	SiO2 [ppm]	D Ca [ppm CaCO3]	D To [ppm CaCO3]	Tz	Ciclos de Concentración
Muestreo 1	7.6	7134	0.4	0.5	4	121	54	144	12	8.92
Muestreo 2	7.56	7324	0.34	0.45	4	126	49	154	14	9.16
Muestreo 3	7.63	7232	0.41	0.43	4	129	39	150	12	9.04

Los sistemas J1 y el sistema M3 se encuentran con ciclos de concentración mayores a 5, esto aumenta las concentraciones de sólidos; en el caso de la de sílice es un caso crítico para estos sistemas ya que valores mayores a 150 ppm tiende a precipitar y formar incrustaciones y en el caso del sistema J1 a pH elevados se vuelve crítico.

4.2.2.3.- Concentración de Oxidantes.

Históricamente el cloro ha sido el oxidante más común usado para el control microbiano. No obstante, si se agrega una cantidad errónea de cloro u otro oxidante se pueden provocar nuevos problemas en el sistema que pueden ser peores que las bacterias mismas. Por ejemplo una cantidad demasiado pequeña de oxidante no destruirá todos los microorganismos del sistema y puede crear un problema enorme de babazas. Una cantidad excesiva de oxidante puede empezar a dañar la madera de una torre de enfriamiento mediante un proceso llamado deslignificación. Los oxidantes deben estar comprendidos en el intervalo recomendado para controlar la población microbiana en un sistema de enfriamiento sin dañar a otros equipos.



En el caso de las torres analizadas en la Tabla 18 se observó que el sistema J1 mantiene valores altos >0.5 ; en los otros tres sistemas se mantienen valores aceptables de halógeno libre.

4.2.2.4.- Concentración de agentes químicos del tratamiento.

En la mayoría de los programas de tratamiento de agua se incluyen una serie de agentes químicos para tratar la corrosión, incrustaciones, ensuciamiento y problemas microbiológicos. Estos agentes químicos se prescriben para cada sistema individual, basándose en sus características exclusivas. Estos agentes químicos deben agregarse en las dosis exactas prescritas, sus concentraciones en el agua de recirculación deben comprobarse en forma frecuente y regular. Una cantidad excesiva u otra demasiado pequeña causará la falla del programa.

Las concentraciones adecuadas dependen de cada programa de la calidad del agua como se mencionó anteriormente.

Hablando de estos sistemas, se cuentan con un programa de Zinc- Fosfato en las que se regula por los valores de Fosfato en el sistema, donde se recomienda un residual de fosfato de 6 a 12 ppm. Se encuentran los sistemas M3 y el J1 por debajo del rango recomendado.



4.2.3 Simulación de Índices de Langelier, Ryznar y Puckorius.

En la tabla 19 se presenta un ejemplo de la simulación del sistema J1 en un simulador que se encuentra en internet, se analizan los datos para el sistema y se observan los Resultados comentados al final de la tabla.

Tabla 19. Sistema J1 se muestra la simulación a continuación y su interpretación.

1. CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE LANGELIER, RYZNAR y PUCKORIUS		
PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
pH		7.5
C.E	μS/cm	723
TDS	mg/L	463
Ca ⁺²	mg/L	1
Ca ⁺²	mg/L CaCO ₃	1.00
HCO ₃ ⁻	mg/L	178.1
CO ₃ ²⁻	mg/L	1
*Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	147.6
A		0.17
B		1.83
C		-0.40
D		2.17
phsaturación		9.53
pHeq		7.84
T ^a	° C	28
Langelier (LSI)		-2.0
Ryznar (RSI)		11.6
Puckorius (PSI)		11.2

7.5

Fuentes: - BLAKE, R.T. Water treatment for HVAC and potable water systems (1980) Ed. Mc Graw – Hill

Introduzca en la Tabla los valores concretos de su agua para pH, C.E (μS/cm), Ca⁺² (mg/L), HCO₃⁻ (mg/L), CO₃²⁻ (mg/L) y T^a. (CELDAS COLOR AZUL)

- <http://www.corrosion-doctors.org/NaturalWaters/Puckorius.htm>



Tabla 19. Sistema J1 se muestra la simulación a continuación y su interpretación. (Continuación)

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS
Índice de Langelier
Si $IL = 0$, agua en equilibrio químico Si $IL < 0$, agua con tendencia a ser corrosiva Si $IL > 0$, agua con tendencia incrustante
Según el R.D. 140/2003 por el que se establecen los criterios sanitarios de calidad de las aguas de consumo humano el agua en ningún momento podrá ser ni agresiva ni incrustante. El resultado de calcular el Índice de Langelier debería estar comprendido en
Fuente: Carrier System Design Manual, Part 5: Water Conditioning, Carrier Corporation, Syracuse, N.Y., 1968, p. 5-14.

Índice de Ryznar
IR de 4,0 - 5,0, Fuertemente incrustante IR de 5,0 - 6,0, Ligeramente incrustante IR de 6,0 - 7,0, Ligeramente incrustante o corrosiva IR de 7,0 - 7,5, Significativamente corrosiva IR de 7,5 - 9,0, Fuertemente corrosiva IR de 9,0 y mayor, Intolerablemente corrosiva
Fuente: Carrier System Design Manual, Part 5: Water Conditioning, Carrier Corporation, Syracuse, N.Y., 1968, p. 5-14.
Índice de Puckorius
PSI < 4,5 Tendencia a la incrustación 4,5 < PSI < 6,5, Rango óptimo (No hay corrosión) PSI > 6,5 Tendencia a la corrosión
Fuente: http://www.process-cooling.com/CDA/ArticleInformation/Water_Works_Item/0,3677,29759,00.html

Según los resultados de simulación de la tabla en el cálculo de los índices, los tres índices Langelier, Ryznar, Puckorius se trata de un agua con una fuerte tendencia a la corrosión.



4.2.4 Simulación de Operación de sistemas.

Las empresas prestadoras de servicios de tratamiento de aguas cuentan con numerosos programas de simulación para el control de tratamiento de agua de los sistemas de enfriamiento, sin embargo muchos de estos programas no consideran muchas variables reales por sus limitaciones; ahí es donde debe resaltar la experiencia del Ingeniero o asesor para el control de estos sistemas, sin embargo lo que muchas veces llega a suceder es que saturan a los sistemas de productos generando algunos de los problemas Corrosión, Incrustación, ensuciamiento.

Adelante se muestran las figuras 28, 29 y 30 de las corridas de uno de los programas mas completos del mercado en el cual podemos ver algunos puntos importantes acerca del control de los sistemas.

Cada compañía tiene su programa según su sistema de control. Diseñados para sus equipos de monitoreo y control, y con la programación de sus productos de línea.

Este programa se alimenta de datos Mecánicos Operaciones y Químicos del sistema y se busca una relación con las variables que se pueden controlar que en esta caso son purgas para mantener los ciclos de concentración, pH, Dosis de productos químicos (Biocidas, Multifuncionales inhibidores de corrosión y incrustación) como se muestra en la figura 32.

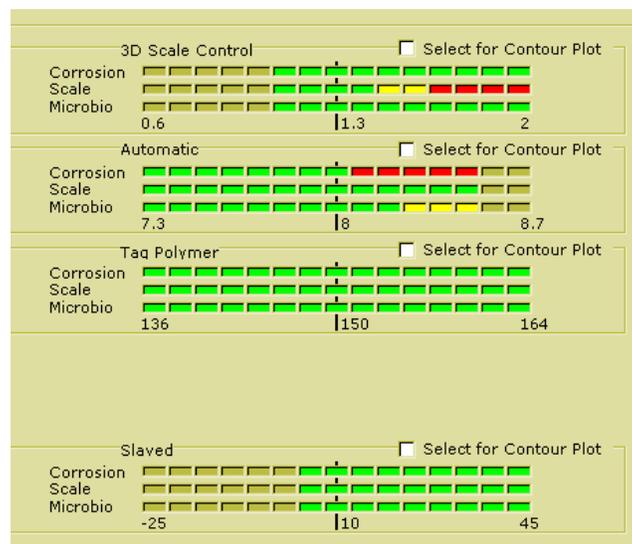


Figura 32. Simulación de tratamiento de una torre de enfriamiento. (Nalco Software)

Buscando dentro de estos mismos programas y simulando el mismo sistema encontramos que no da los efectos del control de cada parámetro en donde vemos que más del 97% del control del sistema corresponde al pH y un



porcentaje del 3 % correspondiente al producto y a los cloruros del sistema como se muestra en la figura 33.

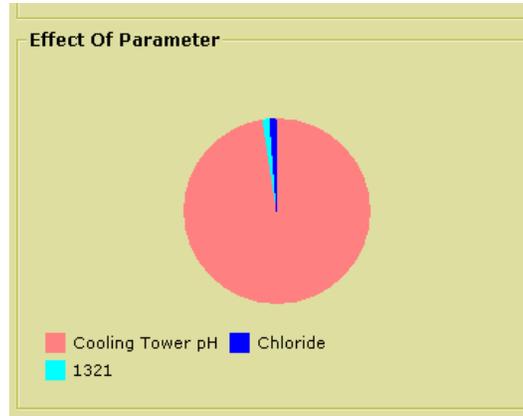


Figura 33. Efecto de los parámetros en el tratamiento de una torre de enfriamiento. (Nalco Software)

En la Figura 34, se muestra un ejemplo común de corrosión en sistemas con material de Galvanizado llamado White Rust.

La simulación de los parámetros de la calidad del agua de alimentación, la recirculación, el pH, los ciclos de concentración y la cantidad de productos se muestra en la figura 34, el efecto del control de estos parámetros y la relevancia de esto en un sistema ya controlado, en el cual no indica que el pH de la Torre y el Halógeno Libre pueden contribuir a que se de este fenómeno.

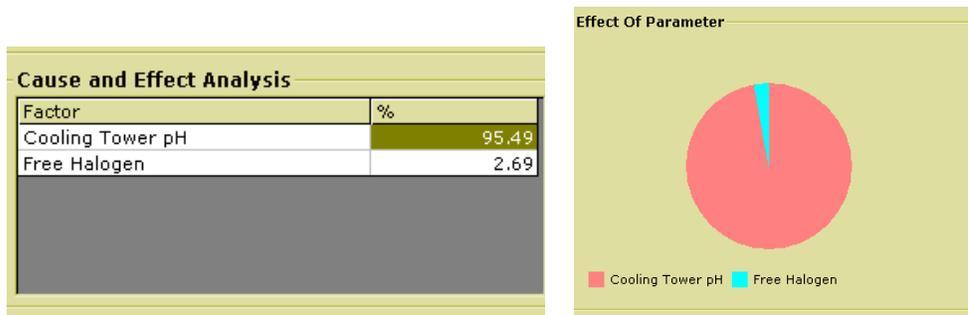


Figura 34. Efecto de los parámetros para el control de corrosión en el tratamiento de una torre de enfriamiento. (Nalco Software)

El mismo programa nos da unas tablas del pronóstico realizado del análisis del sistema donde nos especifican las concentraciones de producto Alcalinidad, Dureza, Conductividad máxima, Cloruros, Fierro, Sílice, entre otros: las condiciones de operación a las que debiera operar este sistema se muestran en la tabla 20.



Tabla 20.- Muestra las Condiciones de Operación Ideales de agua de recirculación. (Nalco Software)

Torre	Valor	Unidad
Torre pH	7.8	Unidades pH
Torre Calcio	56	ppm Ca as CaCO3
Torre M Alcalinidad	93	ppm as CaCO3
Torre Conductividad	1,120	µS/cm
Torre Chloruros	180	ppm Cl
Torre Fierro	0.2	ppm as Fe
Torre Magnesio	112	ppm Mg as CaCO3
Torre Silice	168	ppm SiO2
Torre Sulfatos	206	ppm SO4
Torre Turbides.	1	NTU

Los parámetros del programa de tratamiento se muestran en la tabla 20 tratándose de programa de Zinc-Fosfato y las cantidades usadas de productos para el control de la corrosión e incrustación de corrosión, en este caso un Multifuncional se muestran en la tabla 21.

Se trata de cantidades impresionantes de producto por este sistema ya que entre ambos productos sin considerar los biocidas suman aproximadamente 130 toneladas de producto, adelante se revisa un poco de las características de estos productos en cuanto a su toxicidad y descargas además se analiza un poco acerca de los biocidas Oxidantes como no Oxidantes que se liberan en las purgas del sistema.

Tabla 21.- Muestra Parámetros del programa de tratamiento químico. (Nalco Software)

Parámetros de Tratamiento	Valor	Unidad
Torre Ortho Phosphate	10.8	ppm PO4
Torre Zinc	1.4	ppm Zinc as Zn
Uso de Multifuncional	115,374	kg/Año
Uso de Inhibidor de Corrosión	16,152	kg/Año

Los parámetros mecánicos del sistema Volumen de recirculación, Delta T, Eficiencia de Evaporación, Control de purga, Tiempo de residencia del agua en el sistema, se muestran en la tabla 22 bajo condiciones ideales parte de lo que los operadores deben conocer muy bien ya que si para un equipo modifican algo o hay cambios en la operación, se debería tomar en cuenta para la operación o cambiar las condiciones del sistema.



Tabla 22.- Muestra Parámetros del Mecánicos del sistema. (Nalco Software)

Parámetros Mecánicos	Valor	Unidad
Tasa de Recirculación	5,000	gal/min
Delta T	22	F
Eficiencia de Evaporación	85	%
Tasa de Flujo de evaporación	93	gal/min
Control de Purga	9	m3/hr
H T I	14	Hr
Makeup	135	gal/min
Ciclos de concentración	3.2	Unitless

En este sistema se recomienda una operación a 3.2 ciclos de concentración si observamos las condiciones reales del sistema J1, se encontraba operando a 6, 29 y 2 ciclos de concentración. En la figura 35, se observa la cantidad de agua de alimentación en relación con los ciclos de concentración.

Se observa claramente que un sistema que se mantiene de 3.5 a 4 ciclos de concentración obtiene un excelente ahorro en el agua de alimentación y por consiguiente la reducción de purga es muy significativa.

Esto nos trae como consecuencia que tratar de aumentar los ciclos de concentración no nos trae un ahorro de agua significativo pero si nos coloca el sistema en condiciones de estrés con probabilidad de incrustación por saturación de especies incrustantes.

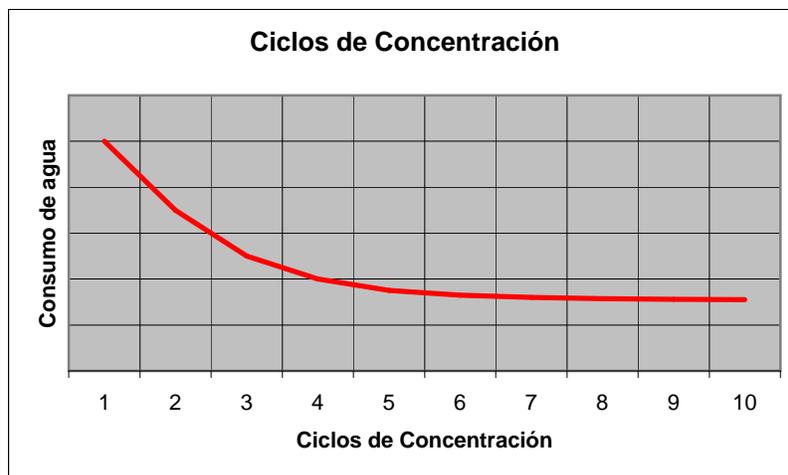


Figura 35. Relación de Ciclos de Concentración Contra Alimentación y purga de una torre de enfriamiento.

En las condiciones de los sistemas en el punto 4.2.1 la condición 3 nos habla de la formación de algas en las charolas y en las zonas húmedas; una manera de controlar mecánicamente esta situación puede ser cubriendo las charolas y



reduciendo al máximo las condiciones de crecimiento de algas que son Luz, Nutrientes; si se considera que un factor limitante para el crecimiento en los ecosistemas acuáticos es el Fósforo y la mayoría de los sistemas de tratamiento son a base fosfatos.

Por tal razón en estos mismo sistemas la adición de Biocidas oxidantes y no oxidantes son en cantidades enormes para un sistema como en el sistema J1, según los programas para mantener en el sistema un residual de halógeno de 0.02 ppm se consideran 8000 kg anuales y 950 kg de Biocidas no Oxidantes.

4.2.5 Impacto de productos químicos en las descargas.

Las descargas de agua de las purgas de los sistemas de enfriamiento en una empresa tendrán un impacto de acuerdo a donde se dirijan, si hay planta de tratamiento de aguas residuales en la empresa o si la descarga se aplica directo sin tratar, si la descarga se aplica a alcantarillado o se aplica a un cuerpo de agua.

Un factor sumamente importante a considerar es si la purga se establecerá en la tubería de retorno de agua caliente o en el retorno del agua de la torre ya fría es decir la purga será de agua Caliente o de agua fría.

1.- si la purga se instala en la salida de los equipos reactores, compresores, etc o equipo enfriado esta agua será agua caliente que puede impactar al ambiente si esta es descargada directamente a un cuerpo de agua.

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, "Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales" y la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, establecen para temperatura como Limite Máximo Permisible 40 °C. Luego entonces se corre el riesgo de impactar el cuerpo de agua por el parámetro de temperatura y no cumplir con dichas normas; esto también si la descarga de agua fuera directa es decir que no se mezclara con otras descargas de la misma planta o que estas no fueran significativas para reducir la temperatura.

En el caso de que la purga se coloque en el agua que baja de la torre agua ya fría también tendría que evaluarse, si no se está perdiendo energía al enfriar agua que podría descargarse directamente de los equipos sin hacerla pasar por la torre de enfriamiento.



La purga también tiene mucho que ver con la aplicación de productos químicos y el impacto al ambiente es decir asegurarse de que la purga no sea después de la aplicación de productos químicos en tiempo y forma es decir después de dar un choque de biocida no oxidante para no tirarlo por la purga o que la concentración baje por purga o que está colocada a unos metros de la aplicación de los productos químicos; tal vez si es probable que fuera un descarga de fondo del bacín de la torre para acarrear con los lodos sedimentados en éste.

En cada caso se requiere un análisis detallado del sistema para poder asignar un adecuado punto de purga considerando los aspectos energéticos y ambientales.

En las siguientes tablas 23, 24 y 25 se muestran algunas características de los productos en los ecosistemas:

En la tabla 22 se muestran los resultados de un **Biocida oxidante:**
EFFECTOS TÓXICOS EN EL ECOSISTEMA:
 Los siguientes resultados son para el producto.

Tabla 23.-Resultados de toxicidad aguda en peces de un Biocida oxidante: (MSDS Producto)

Especies	Tiempo de exposición	LC50	Sustancia examinada
Trucha arcoiris	96 hora	4.5 mg/l	Producto
Pececillo Fatheat	96 hora	8.3 mg/l	Producto
Pececillo ciprinodonte	96 hora	16 mg/l	Producto

Tabla 24.-Resultados de toxicidad aguda en invertebrados de un Biocida oxidante:

Especies	Tiempo de exposición	LC50	EC50	Sustancia examinada
Pulga de agua (Daphnia magna)	48 hora	4.3 mg/l	4.2 mg/l	Producto
Pulga de agua (Ceriodaphnia dubia)	48 hora	1.6 mg/l		Producto
Camarón de bahía (Mysidopsis bahia)	96 hora	27 mg/l		Producto

Tabla 25.-Resultados en vegetales acuáticos de un Biocida oxidante:

Especies	Tiempo de exposición	EC50/LC50	Sustancia examinada
Algas verdes (Selenastrum capricornutum)	72 hora	3.66 mg/l	Producto

PERSISTENCIA Y DEGRADACIÓN : Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) : Esta materia es un biocida comburente y no se espera que persista en el medio ambiente.

POTENCIAL DE MOVILIDAD : El resultado sobre el medio ambiente se estimó utilizando un modelo de fugacidad de nivel III en el paquete EPI (estimation program interface, interfaz del programa de estimación) Suite TM, provisto por la EPA de EE.UU. (US EPA). El modelo supone una condición de estado estacionario entre la entrada y la salida total.



El modelo de nivel III no requiere equilibrio entre los medios definidos. La información suministrada intenta brindar al usuario una estimación general del resultado sobre el medio ambiente que esté producto presente bajo las condiciones definidas de los modelos. Se espera que, si este material se libera al medio ambiente, se disperse en el aire, el agua y el suelo/sedimentos en los porcentajes aproximados correspondientes ver tabla 26;

Tabla 26.-Porcentaje de dispersión del producto en agua aire, suelo o aire:

Aire	Agua	Suelo/Sedimentos
<5%	30 - 50%	30 - 50%

Se estima que la parte en agua puede disolverse o dispersarse.

POTENCIAL DE BIOACUMULACION:

Se espera que este preparado o material no genere bioacumulación.

CARACTERIZACIÓN DE PELIGRO AMBIENTAL Y DE EXPOSICIÓN

De acuerdo con nuestra caracterización de peligro, el potencial de peligro para el medio ambiente es: Moderado considerando que se mantienen los sistemas con valores de halógeno de menos de 0.5 mg/l y los valores de LC50 van desde 4.6 hasta 16 mg/l para diferentes especies.

En las tablas 27, 28 y 29 se muestran los resultados de un **Biocida no oxidante**, isotiazolinas producto usado para el control microbiológico.

EFFECTOS TÓXICOS EN EL ECOSISTEMA :

Los siguientes resultados son para un producto similar.

Tabla 27.-Resultados de toxicidad aguda en peces de un Biocida no oxidante:

Especies	Tiempo de exposición	LC50	Sustancia examinada
Trucha arcoiris	96 hora	0.7 mg/l	Producto
Peje-sol de agalla azul	48 hora	0.1 mg/l	Producto

Tabla 28.-Resultados de toxicidad aguda en invertebrados de un Biocida no oxidante:

Especies	Tiempo de exposición	LC50	EC50	Sustancia examinada
Pulga de agua (Daphnia magna)	48 hora	0.1 mg/l		Producto

Tabla 29.-Resultados en Aves de un Biocida no oxidante:

Especies	Tiempo de exposición	LC50	Sustancia examinada
Pato Real, Oral aguda LD#50# =		240 mg/kg	Producto
Codorniz Bobwhite, Oral aguda LD#50# =	8 Días	2,625 mg/kg	Producto



En las tablas 30,31 y 32 se muestran los resultados de un **Multifuncional inhibidor de corrosión e incrustación**; en estas tablas se observa que los valores que se consideran de LC50 van en promedio de 160 ppm, si consideramos que los sistemas de enfriamiento en el agua de recirculación contienen como máximo hasta 40 ppm, no se considera este un producto que impacte al ambiente.

EFFECTOS TÓXICOS EN EL ECOSISTEMA :

Los siguientes resultados son para un producto similar.

Tabla 30.-Resultados de toxicidad aguda en peces de un Multifuncional:

Especies	Tiempo de exposición	LC50	Sustancia examinada
Trucha arcoiris	96 hrs	42 mg/l	Producto similar
Pececillo Fatheat	96 hrs	80 mg/l	Producto similar
Pez mérido	96 hrs	176.08 mg/l	Producto

Tabla 31.-Resultados de toxicidad aguda en invertebrados de un Multifuncional:

Especies	Tiempo de exposición	LC50	EC50	Sustancia examinada
Pulga de agua (Daphnia magna)	48 hrs	380 mg/l		Producto similar
Camarón de bahía (Mysidopsis bahia)	96 hrs	116.68 mg/l		Producto

PERSISTENCIA Y DEGRADACIÓN :

Carbono Orgánico Total (COT) : 42,000 mg/l

Demanda Química de Oxígeno (DQO) : 140,000 mg/l

Tabla 32.-Demanda biológica de Oxígeno a 5 días de un Multifuncional:

Periodo de Incubación	Valor	Sustancia examinada
5 d	10.000 mg/l	Producto

Se espera que la parte orgánica de este preparado sea intrínsecamente biodegradable.

POTENCIAL DE MOVILIDAD :

El resultado sobre el medio ambiente, se estimó utilizando un modelo de fugacidad de nivel III en el paquete EPI (estimation program interface, interfaz del programa de estimación) Suite TM, provisto por la EPA de EE.UU. (US EPA). El modelo supone una condición de estado estacionario entre la entrada y la salida total. El modelo de nivel III no requiere equilibrio entre los medios definidos. La información suministrada intenta brindar al usuario una estimación general del resultado sobre el medio ambiente que este producto tiene bajo las condiciones definidas de los modelos. Se espera que, si este material se libera



al medio ambiente, se disperse en el aire, el agua y el suelo/sedimentos en los porcentajes aproximados correspondientes ver tabla 33;

Tabla 33.-Porcentaje de dispersión del producto en agua aire, suelo o aire:

Aire	Agua	Suelo/Sedimentos
<5%	30 - 50%	50 - 70%

Se estima que la parte en agua puede disolverse o dispersarse.

POTENCIAL DE BIOACUMULACION

Se espera que este preparado o material no genere bioacumulación.

Si consideramos estas tablas de la 23 a la 33, de las hojas de seguridad y tomamos en cuenta que algunos sistemas por muy pequeños que sean, se llevan toneladas de productos químicos entre, Multifuncionales, Biocidas Oxidantes, Biocidas No Oxidantes de alta carga Orgánica y algunos de estos tóxicos o de alta permanencia es importante considerar para minimizar el impacto de estos en el ambiente minimizar la dosis y hacer un mejor uso del control físico antes que llegar al tratamiento químico.



Capítulo V Conclusiones. Y Recomendaciones.

5.1 Conclusiones

Al término del presente estudio podemos concluir:

1. Cuando el personal encargado de la administración de los sistemas de enfriamiento carece de un buen conocimiento del sistema, procesos críticos, condiciones mecánicas, operaciones y las químicas. se corre el riesgo de un mal manejo del sistema y tener problemas de corrosión, incrustación, ensuciamiento o crecimiento microbiano.
2. De acuerdo a los simuladores, análisis del agua de recirculación, la experiencia de los operadores y asesores ambientales relacionados con estos procesos, se observa que; Un buen control en un sistema de enfriamiento en los parámetros de pH y conductividad; conlleva el 80% del éxito del tratamiento y si es que son bien establecidos los valores de control, el producto químico viene a reforzar el éxito del tratamiento.
3. La aplicación de un programa de tratamiento en Torres de enfriamiento debe considerar si es de manera manual los índices de Langelier, Riznar, Larson Skolt, y índice de Puckorius; antes de iniciar un tratamiento y si se utiliza un simulador, habrá que asegurarse que este considere al menos estos índices.
4. Los problemas de un mal tratamiento o falta de tratamiento como, Corrosión, Incrustación, Ensuciamiento y microbiología; acarrear una pérdida de eficiencia en los sistemas que traen de la mano pérdidas de energía y por consiguiente un impacto al ambiente más significativo.
5. Los impactos ambientales relevantes en el mal manejo de un sistema se reflejan en descargas con altos contenidos de productos químicos, tóxicos, se trata de impactos moderados. El deterioro a corto plazo de los equipos y fallas en el proceso pérdidas de producción producen mermas de producción y desperdicios que llevan impactos ambientales negativos.
6. Los Ciclos de concentración son una manera de controlar las condiciones del sistema, el ahorro de agua; cuando el sistema opera a más de 4 ciclos de concentración llevarlo a más de estos, puede resultar costoso y poco representativo en el ahorro de agua.
7. Se observa por los equipos en cuestión, que muchas veces se les da poca importancia a estos sistemas en algunos tratamientos, lo dejan totalmente en manos de los proveedores sin que estos tengan atención



en ellos o en algunos casos simplemente no cuentan con ningún tratamiento.

8. Con base en los resultados y en las toxicidad de algunos productos usados, entendemos que la hipótesis se cumple de manera que los productos tóxicos, principalmente los Biocidas, si hablamos que en algunos se consideran LC50 a dosis de 0.1- 0.7 mg/l para diferentes especies y los choques de biocida llegan a ser de hasta 250 ppm; en el caso de los inhibidores de corrosión o incrustación los valores de LC50 son de 42 –380 mg/l para diferentes especies y mantienen dosis de menos de 50 ppm.

5.2 Recomendaciones.

Al término del presente estudio podemos Recomendar:

1. El personal involucrado en el manejo u operación de los sistemas de enfriamiento, se debe mantener en capacitación constante en cuanto a la operación y funcionamiento de los equipos y el manejo seguro de los productos químicos.
2. Mantener Informado al Personal Operador de los sistemas de enfriamiento de las consecuencias al ambiente en el manejo indiscriminado de los productos químicos.
3. Mantener actualizado un Inventario de productos químicos así como el registro controlado de consumos.
4. Evaluar el diseño y operación adecuado del sistema de enfriamiento y no tratar de resolver problemas mecánicos operacionales con tratamiento químico.
5. Asegurar la operación correcta de los sistemas de enfriamiento y minimizar el consumo de productos químicos.
6. Llevar un registro de la eficiencia Eléctrica de los sistemas de enfriamiento.
7. Evaluar que no haya aumento en los consumos de energía por efectos de incrustación, corrosión y ensuciamiento microbiano en los sistemas de enfriamiento.
8. Evaluar adecuadamente la instalación de la purga, ésta puede ser un factor importante en el ahorro de energía y en el impacto contaminante hacia la descarga.



Bibliografía

1. Almeraya C. F.; Gaona. Citalli. Et. All. (2000) problemas de Corrosión. Universidad Autónoma Metropolitana.
2. American Society for testing and materials;(1982) Manual de aguas, Editorial Limusa México.
3. Avila, J.; Genesca, Joan. (1995). Más allá de la Herrumbre, La ciencia para todos 9. Edit. Fondo de Cultura Económica.
4. Benson, S. W. (2007), Cálculos Químicos. Una introducción al uso de las Matemáticas en la Química. Edt. Limusa Wiley.
5. Berk S, . G.; Gunderson, J.H.; Newsome, A . L; Farone, A. L.; Hayes, B. J.; Redding, K. S.; Uddin, N.; Williams, E. L.; Johnson, R. A. Farsian, M.; (2006) Occurrence of Infected Amoebae in Cooling Towers Compared with Natural Aquatic Environments: Implications for Emerging Pathogens. ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY / VOL. 40, NO. 23, 2006
6. Chantereau, J. (1985). Corrosión Bacteriana. Edit. Limusa.
7. De la Cruz. R. A.; (1997). Análisis costo-beneficio del programa de tratamiento todo orgánico para el agua utilizada en el sistema de enfriamiento de la central termoeléctrica Altamira. Tesis de Maestría. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. Instituto Politécnico Nacional.
8. Galveneale, J.R.; (1979). Corrosion. Secretaria General de la Organización de los estados Americanos.
9. Herro, H.M.; Port, Robert D. (1993). The Nalco Guide to Cooling Water system Failure Analysis. Nalco Chemical Company. Edit. McGraw Hill.
10. Jenkins, D.; Snoeyink Vernon L. (1995). Química del agua. Edit. Limusa.
11. Kemmer, F.N. (1988). The Nalco Water Handbook. Nalco Chemical Company. Second Edition Edit. McGraw Hill.
12. Kemmer, F.N.; Mc Callion, J. (1989). Manual del agua. Nalco Chemical Company. Primera Edición en español. Edit. McGraw Hill.
13. Martinez, V. J; (2002) Aplicación de termo polímeros biodegradables para el tratamiento químico de agua de repuesto de las torres de enfriamiento.



- Caso: complejo petroquímico. Tesis de Maestría. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. Instituto Politécnico Nacional.
14. McCabe, W.L.; Harriott, J. C. (2002). Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Edit. McGraw Hill.
 15. Myoung G. H.; Katayama, H.; Ohgaki, S. (2007). Inactivation of Legionella pneumophila and Pseudomonas aeruginosa: Evaluation of the bactericidal ability of silver cations; WATER RESEARCH 41 (2007) ppg.4097 – 4104
 16. Nalco Company (2005). Value documentation guide. Book # 311.
 17. Nalco Company; (2006). Cooling Water Application and Best Practices Guide (3-06) Confidential, For Nalco Employee Use Only.
 18. Nalco Chemical Company; (1999). Agua de enfriamiento Manual técnico. Edición en español. Solo para Uso de Empleados.
 19. Rosaler, Robert; (2002) Standard Handbook of Plant Engineering. Edit. McGraw-Hill.
 20. Siyuan C. Morton, Yan Zhang, Marc A. Edwards (2004) Implications of nutrient release from iron metal for microbial regrowth in water distribution systems. Water Research 39 (2005) 2883–2892.
 21. Stanford W.H.; Bowen, G. (1967). A practical guide to cooling tower desing and operation. Carter Thermal Engineering.
 22. T.E., Larson & R.V., Skold, Laboratory Studies Relating Mineral Quality of Water to Corrosion of Steel and Cast Iron (1958) Illinois State Water Survey, Champaign, IL pp. 43-46: ill. ISWS C-71
 23. Tchobanoglous, G.; Burton, F.L.; Stensel, H.D. (2003). Wastewater Engineering, Treatment and reuse. Metcalf & Eddy, Inc. Edit. McGraw Hill.
 24. Wohlberg, C. (1975); Silica in water in relation to cooling tower operation. Series NACE(6191).
 25. Wulfinghoff, D. R.(1999). Energy Efficiency Manual. Energy Institute Press.



Glosario:

Ablandamiento: Remoción de dureza (Calcio y Magnesio) del agua.

Algas: Plantas simples que contienen clorofila. Muchas son microscópicas pero en condiciones favorables para su crecimiento crecen en colonias y producen capas y masas.

Alcalinidad: por definición, La alcalinidad Total (También llamada alcalinidad "M") es aquella que reaccionará con ácido, mientras que el pH de la muestra se reduce hasta el punto final del anaranjado de metilo – a un pH aproximado de 4.2., otra expresión importante es la alcalinidad "F", la cual existe arriba de un pH de 8.2, y la que reacciona con el ácido, mientras que el pH de la muestra se reduce a 8.2.

Amortiguador: Sustancia en solución que acepta Iones Hidrógeno o iones Oxidrilo que han sido añadidos a la solución como ácidos o álcalis, haciendo mínimo el cambio de pH (Búfer).

Anión: Ión cargado negativamente que resulta de la disociación de sales, ácidos, o álcalis en solución acuosa.

Bacterias: Son microorganismos unicelulares que presentan un tamaño de algunos micrómetros de largo (entre 0,5 y 5 μm , por lo general) y diversas formas incluyendo esferas, barras y hélices. Las bacterias son procariontes y, por lo tanto, a diferencia de las células eucariotas (de animales, plantas, etc.), no tienen núcleo ni orgánulos internos. Generalmente poseen una pared celular compuesta de peptidoglicano. Muchas bacterias disponen de flagelos o de otros sistemas de desplazamiento y son móviles. Del estudio de las bacterias se encarga la bacteriología, una rama de la microbiología.

Biocida: Producto químico usado para controlar la población de microorganismos en un ambiente dado.

Catión: Ión Cargado positivamente que resulta de la disociación de moléculas en solución.

Ciclos de Concentración: Relación de concentración; en un sistema de evaporación de agua, relación de la concentración de una sustancia específica en el reemplazo y su concentración de agua evaporada, medida por lo general en el purgado.

Conducción: Transferencia de calor a través de un cuerpo por movimiento molecular.



Conductividad : Capacidad de una sustancia para conducir calor o electricidad. La conductividad eléctrica se expresa por lo general en micromhos/cm.

Contaminante: Cualquier componente extraño presente en otra sustancia; por ejemplo, cualquier cosa en el agua que no sea agua es una contaminante.

Convección: Transferencia de calor a través de un fluido por corrientes circulantes.

Dispersante: producto químico que hace que las partículas presentes en un sistema de agua se mantengan en suspensión.

Dureza: concentración de sales de calcio y magnesio en el agua. Dureza es un termino que originalmente se refiere al poder consumidor de Jabón respecto al agua; como tal, también se toma a veces para incluir el hierro y el manganeso. “Dureza Permanente”, es el exceso de dureza sobre la alcalinidad. “Dureza Temporal”, es la dureza que es igual o menor a la alcalinidad. Estas se designan también como “Dureza no-Carbonato” o “Carbonato” respectivamente.

Dureza de Carbonatos: la dureza en el agua causada por Bicarbonato y carbonato de calcio y magnesio. Si la alcalinidad excede la dureza total. Toda la dureza es dureza de carbonato; si la dureza excede a la alcalinidad, la dureza de carbonato es igual a la alcalinidad.

Dureza no carbonato: dureza en el agua causada por cloruros, sulfatos y nitratos de calcio y magnesio.

EPA: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos Americanos.

FDA: Administración de Drogas y alimentos.

Filtración: proceso de separación de sólidos de un liquido por medio de una sustancia porosa a través de la cual pasa solamente el liquido.

Floculación: proceso de aglomeración de las partículas coaguladas, para formar floculos sedimentables, por lo general de naturaleza gelatinosa.

Flotación: proceso de separación de los sólidos del agua mediante el desarrollo de espuma en un recipiente, de modo tal que los sólidos se adhieran a partículas de aire y floten hasta la superficie para ser recolectadas.

Fosfatos Coordinado: esquema de tratamiento de calderas en que se usan amortiguadores de fosfato para evitar la presencia de alcalinidad oxhidrilo.

Hongos: Aplicada al agua, denominación de los microorganismos unicelulares sin clorofila, a veces filamentosos. El moho y las levaduras son incluidas.



Humidificación: adición de vapor de agua al Aire.

Incrustación: precipitado que se forma sobre las superficies en contacto con el agua como resultado de un cambio físico o químico.

Índice de ensuciamiento: medida de la tendencia de un agua a ensuciar una membrana de osmosis inversa, basada en el flujo cronometrado a través de un filtro de membrana a presión constante.

Índice de estabilidad: Modificación empírica del índice de saturación usado para predecir las tendencias corrosivas, o de incrustación en sistemas de agua.

Índice de Langelier: Medio de expresar el grado de saturación del agua respecto a la solubilidad del carbonato de calcio.

Índice de Saturación: Relación entre el Carbonato de Calcio, el pH, La alcalinidad y la dureza del agua para determinar su tendencia a formación de incrustaciones.

Inhibidor: producto químico que interfiere con una reacción química, como la corrosión y la precipitación.

Lignina: El constituyente no celulósico más importante de la madera.

Membrana: Barrera delgada, por lo general, que permite solo el paso de partículas hasta de un cierto tamaño o de una naturaleza especial.

Mol: Peso o volumen unitario de una sustancia química que corresponde a su peso molecular.

Par Galvanico: Conexión de dos metales diferentes en un electrolito, que resulta de un flujo de corriente a través de un circuito.

pH: Manera de expresar la concentración de Ion Hidrógeno en términos de potencias de 10; el logaritmo negativo de la concentración de los ion hidrógeno.

Polifosfato: Ortofosfato Deshidratado molecularmente.