

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y MANUFACTURERA



**EXPERIENCIA EN EL DESARROLLO DE PROGRAMAS DE
TRATAMIENTO QUÍMICO EN SISTEMAS
DE AGUA DE ENFRIAMIENTO**

INFORME DE INGENIERIA

Para Optar el Título Profesional de:

Ingeniero Químico

POR LA MODALIDAD DE EXPERIENCIA PROFESIONAL

**Presentado por:
Emilio Washing Vega**

**PROMOCION: 90-II
UNI – 2003**

A Eugenia, Esteban y Shandel porque
son motivos de mi existir.

A Francesca que comenzó a ayudarme
sin que yo lo supiera.

AGRADECIMIENTO

A mis profesores de la UNI que tuvieron que ver con mi formación.

A Pedro Pizarro por su permanente asesoría y confianza brindada.

A María Jesús, Cecilia y Campanita por su paciencia y comprensión.

A Dios por todo.

RESUMEN

El trabajo que enfrentamos después que salimos de la universidad es muy variado y complejo, en muchos casos los conocimientos recibidos son a menudo insuficientes para enfrentar la responsabilidad de hacer un trabajo como ingeniero; la experiencia creo, es la que nos hace y nos da ese calificativo. Para los que puedan leer este breve documento, he tratado de resumir una parte importante de la labor que realizo como profesional. El desarrollo del trabajo se centra en el cuidado de un segmento de una fabrica para minimizar el deterioro de los equipos y disminuir las paradas no programadas; a la vez, hacer que el trabajo de los equipos sea eficiente.

En algunos casos, hoy todavía no se le presta mucha atención al cuidado de los sistemas de enfriamiento: uno porque no tienen cuantificado las pérdidas que les genera y otras por que lo ven como un gasto; gasto que hoy no hacen, pero se lo cargan al costo del producto, por la baja eficiencia y altos costos de mantenimiento.

El conocimiento que encontrara será un breve alcance general para el ingeniero de planta, que le servirá para el manejo y la toma de decisión respecto a los problemas que puede encontrar en su sistema de enfriamiento. A la vez le será útil para elegir con criterio un programa de tratamiento químico.

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN	8
II.	EL ORGANO EMPRESARIAL	9
II.1.	La Empresa.	9
II.2.	Estructura Orgánica.	11
II.3.	Líneas de Asesoría, Venta y Servicios.	11
II.4.	Unidad de Distribución.	11
III.	TRABAJO PROFESIONAL	12
III.1.	Cargo desempeñado.	12
III.2.	Funciones.	12
IV.	CONOCIMIENTOS TECNICO-PROFESIONAL	14
IV.1.	Conceptos Básicos del Agua en Sistemas de Enfriamiento. .	14
IV.2.	El agua y sus Impurezas.	15
IV.3.	Sistemas de Agua de Enfriamiento.	17
IV.3.1.	Tipos de Sistemas de Enfriamiento.	17
IV.3.2.	Equipos industriales de Agua de Enfriamiento.	22
IV.3.3.	Componentes de los equipos de Enfriamiento.	28
IV.3.4.	Eficiencia de los Equipos de Enfriamiento.	31
IV.3.5.	Balance de Masa y Energía.	33
IV.3.6.	Equipo complemento al Sistema de Enfriamiento.....	36
IV.4.	Problemas Característicos en los Sistemas de Enfriamiento...	39
IV.4.1.	Corrosión.	39
IV.4.1.1.	Química de la Corrosión.	39
IV.4.1.2.	Factores que Influyen la Corrosión.	45
IV.4.1.3.	Control de la Corrosión.	49

IV.4.2. Depósitos.	53
IV.4.2.1. Conceptos Generales.	53
IV.4.2.2. Factores que Afectan los Depósitos.	59
IV.4.2.3. Control de Depósitos.	59
IV.4.3. Ensuciamiento Microbiológico.	62
IV.4.3.1. Conceptos Generales.	62
IV.4.3.2. Algas.	64
IV.4.3.3. Hongos.	65
IV.4.3.4. Bacterias.	66
IV.4.3.5. Control Microbiológico.	67
IV.5. Descripción de un Programa de Prevención Química.	71
IV.5.1. Aspectos Técnicos y Económicos.	71
IV.5.2. Programas Químicos.	73
IV.5.3. Sistemas de Alimentación de Químicos.	73
IV.6. Proceso de Monitoreo de un Programa de Tratamiento.	76
IV.6.1. Muestreo.	76
IV.6.2. Análisis Químico.	77
IV.6.3. Inspección de los Equipos de enfriamiento.	78
IV.6.4. Monitoreo de la corrosión.	79
IV.6.5. Medición de la Depositación.	81
IV.6.6. Monitoreo Microbiológico.	82
V. DESARROLLO DE LOS PROGRAMAS DE TRATAMIENTO. ..	86
V.1. Caso Histórico.	86
V.1.1. Datos Operacionales.	86
V.1.2. Cálculos.	87
V.1.3. Análisis Técnico - Económico.	88
V.1.4. Selección del Programa.	90
V.2. Desarrollo de las etapas de Asesoría.	95
V.2.1. Objetivo.	95
V.2.2. Estudio del Sistema.	95
V.2.3. Recomendaciones.	96

VI.	CONCLUSIONES.	97
VII.	BIBLIOGRAFIA.	98
VIII.	APENDICES.	99
	APENDICE A.	99
	Cálculo del Índice de Lagelier	
	APENDICE B.	102
	Procedimiento de Evaluar Tasa de Corrosión y Depositación	
	APENDICE C.	108
	Certificado de Trabajo	

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El Tratamiento Químico de los Sistemas de Enfriamiento viene realizándose desde que fueron descubiertos que los problemas de desgaste de material o ensuciamiento de equipos, los generaba el tipo de agua que se utilizaban para enfriar procesos.

Las tecnologías que antiguamente se usaban, se referían a casos prácticos de las experiencias caseras, luego con los estudios de los fenómenos que ocasionan los problemas de corrosión, incrustación y microbiológico, fueron tecnificándose los programas de tratamiento, llegando hoy aplicar en el Perú los productos recientemente patentados.

Los avances tecnológicos en el diseño de los programas de tratamiento químico, han ayudado a la industria para que los equipos y demás accesorios tengan una vida útil mayor. Que los procesos productivos sean de más bajo costo y la operatividad de las plantas sean cada vez más confiables.

En el presente trabajo se describen los últimos conceptos involucrados al tema de Enfriamiento y además la forma de trabajo de una compañía que se dedica a suministrar Programas de Tratamiento Químico en Sistemas de Enfriamiento.

En el Capítulo II se hace referencia de la compañía, la estructura funcional y de la línea de trabajo que desarrolla frente a los clientes.

En el Capítulo III se indican cuales son las funciones según los cargos desempeñados.

En el Capítulo IV se realiza una introducción de todos los aspectos teóricos, describiendo conceptos básicos para un mejor entendimiento del tema de tratamiento químico de sistemas de enfriamiento.

En el Capítulo V se describe con caso práctico la selección y mejora de un Programa de Tratamiento Químico.

CAPITULO II

EL ORGANO EMPRESARIAL

II.1. La Empresa.

La empresa Hercules del Perú S.A. es una subsidiaria de Hercules Inc. USA. Dentro de sus 3 unidades de negocios principales está BetzDearborn, División que se dedica a proveer programas de tratamiento y servicios para agua de calderas, enfriamiento, efluentes y sistemas de procesos que operan en una amplia variedad de aplicaciones industriales y comerciales.

Su Historia

Establecida en 1912, Hercules Incorporated es un fabricante global de productos de especialidades químicas usadas en una variedad de ambientes, casas, oficinas y productos industriales.

En octubre de 1998, BetzDearborn y Hercules unieron sus dos organizaciones líderes para crear una nueva compañía de especialidades químicas para satisfacer las diferentes necesidades de los clientes a nivel mundial.

Antes de este suceso, en 1996 se habían fusionado Betz y Dearborn, la segunda y tercera compañía a nivel mundial de tratamiento de agua y de tratamiento de procesos.

Por ello, en el Perú la razón social inicial fue BetzDearborn del Perú S.A. desde 1996 hasta 2000, año en el cual pasa a tomar nombre de la corporación: Hercules del Perú S.A.

Unidades de Negocios

Aqualon

Un líder en productos que modifican las propiedades físicas de los sistemas acuosos o sistemas a base de agua. La mayoría de los productos Aqualon son derivados de materias primas naturales renovables.

Beztdearborn

El principal proveedor de programas de tratamiento químico proyectados para los sistemas de agua y procesos industriales. El propósito de la división es proporcionar a sus clientes tecnología superior y servicios para ayudarlos a reducir sus costos operacionales y satisfacer sus objetivos ambientales.

Pulpa y Papel

Principal proveedor de performance, proceso, y soluciones de tratamiento de agua para la industria de pulpa y papel a nivel mundial. La división proporciona la gama más amplia de tecnología y servicios, y el mayor equipo de especialistas de campo en la industria.

II.2. Estructura Orgánica.

La organización de la compañía tiene una estructura matricial, una parte de la estructura está conformada por el grupo de ventas y servicios, cuyas personas son profesionales, dedicadas a desarrollar y dirigir los planes estratégicos de la corporación, la cual es hacer cumplir la misión de Betzdearborn que es: proveer soluciones tecnológicas para el aumento de la calidad en los productos y procesos industriales, maximizando el retorno sobre las inversiones para sus clientes y para la empresa, procediendo con integridad, respetando los intereses de sus aliados estratégicos, actuando responsablemente con relación al medio ambiente y valorizando a sus funcionarios. Todo esto en un marco de aseguramiento de calidad y comprometidos en un desarrollo profesional continuo, para atender las necesidades de nuestros clientes.

II.3. Líneas de Asesoría, Venta y Servicios.

La empresa se dedica a la asesoría técnica para lograr las ventas de los productos que desarrolla y fabrica; la continuidad de la comercialización de sus productos se logra gracias al servicio de asistencia técnica continua que se efectúa a todos los clientes.

Estos programas son especificados y acordados con el cliente, de tal forma cada visita representa para el cliente una asesoría técnica y no una visita comercial.

II.4. Unidad de Distribución.

La compañía cuenta con un departamento de logística que se encarga de la distribución de los productos. El sistema es simple: el responsable de este departamento procede al despacho del producto cuando recibe una Orden de Compra de los clientes o una solicitud de nuestros ingenieros. El 95 % de los despachos son entregados en los almacenes de los clientes y sólo el 5 % el cliente pasa a recoger el producto a nuestros almacenes.

CAPITULO III

TRABAJO PROFESIONAL

III.1. Cargo desempeñado.

La División donde se desempeña nuestra labor es la unidad de Negocios BetzDearborn, Unidad que se dedica a proveer programas de tratamiento y servicios para agua de calderas, enfriamiento, efluentes y sistemas de procesos a las industrias en general, con el objetivo de minimizar los problemas inherentes al proceso, tales como problemas de corrosión, incrustación y/o microbiológico. Además, en nuestra función está buscar y recomendar programas de tratamiento químico más rentables para el cliente, es decir a menor costo y con un alto beneficio técnico, donde los beneficios serán cuantificables, por ejemplo en ahorro de agua o de energía.

El cargo que desempeñé los primeros años fue de Ingeniero de Negocios, y luego, desde 1999 a la fecha, como Gerente de negocios.

III.2. Funciones.

Las funciones que se asignan al cargo de Ingeniero de Negocios son las siguientes:

- Investigación del mercado industrial, en el cual se determina los tipos de industrias existentes en una zona y sus posibles necesidades primarias según el rubro a que se dedican los clientes potenciales investigados.
- Evaluación potencial de cada cliente investigado, esto en lo que respecta a valor anual de la cuenta.
- Visita a los clientes elegidos en el estudio para el levantamiento de datos.
- Determinación de las características del agua que utilizan, mediante un análisis físico-químico.

- Evaluación del sistema de tratamiento actual, con el objeto de detectar necesidades no cubiertas.
- Elaboración de propuestas con los datos de los estudios realizados en el cliente objetivo.
- Presentación de la propuesta. Negociación para vender la propuesta e implementación del programa químico presentado.
- Monitoreo y Control de los programa Químicos, en los nuevos y antiguos clientes, de tal forma de conseguir los resultados acordados con los clientes: mínima corrosión, mínima incrustación y un buen control del crecimiento bacteriano.

Otras labores diarias son la de apoyar a los nuevos ingenieros en las visitas técnicas, en la elaboración de propuestas y ahora, como Gerente de Negocios, la de direccionar a la compañía a los negocios más rentables y al gerenciamiento de todas las actividades técnicas, administrativas y comerciales de la compañía.

CAPITULO IV

CONOCIMIENTOS TECNICO-PROFESIONAL

IV.1. Conceptos Básicos del Agua en Sistemas de Enfriamiento

Es importante conocer la fuente de agua para cada aplicación de enfriamiento. La razón es que el agua es el solvente universal. Esto significa que la mayoría de las sustancias en la Tierra son, más o menos, solubles en agua. El tipo y cantidad de impurezas en el agua determina que tipo de tratamiento es necesario, si es fácil o difícil controlar el programa. El tipo y cantidad de impurezas en el agua puede ser rastreado hasta su fuente.

El uso de agua marina en un sistema de enfriamiento es muy difícil. Ella contiene un nivel muy elevado de minerales disueltos. Estas sales son muy corrosivas para la mayor parte de los metales menos caros que posiblemente estemos usando en un sistema de enfriamiento. Esto significa que para emplear el agua de mar como refrigerante, tenemos que usar aleaciones metálicas muy caras y especiales, resistentes a la corrosión por agua de mar. Existen otros problemas respecto al agua de mar; por el alto contenido de sales, va a formar depósitos incrustantes y la acumulación interferirá con la operación de los intercambiadores de calor. Además, distintos tipos de seres, que viven en el mar, a veces llegan hasta los equipos interfiriendo su operación normal.

Por los motivos expuestos, se prefiere usar agua fresca (no de mar) en los sistemas de enfriamiento. Ello permite que sean usados metales menos caros, reduce un poco la amenaza de formación de incrustación y contiene una población biológica más definida, que podemos controlar.

Al contrario del agua de mar, la composición del agua superficial con frecuencia cambia. El agua superficial cambia durante el año, según las lluvias cambian de estación a estación. Aunque el agua de lluvia sea mayormente agua pura, con frecuencia arrastra mucho

material indeseable a las corrientes y ríos. Algunas veces ocurre un gran cambio en la química del agua superficial durante el período en que se deshace la nieve. Durante los períodos de poca lluvia, la línea de sal en un río puede subir corriente arriba.

La otra fuente de agua fresca es el agua subterránea. Este tipo de agua, también contiene minerales disueltos que pueden causar incrustación. Sin embargo, existen dos grandes ventajas en usar agua subterránea en sistemas de enfriamiento: ella causa pocos problemas biológicos y la química del agua es bastante constante.

IV.2 El Agua y sus Impurezas

A medida que el agua recorre su ciclo, disuelve impurezas que se reflejan en la composición de la atmósfera y de la capa terrestre.

Esto significa que el agua de lluvia puede absorber gases y disolver materia soluble e insoluble contenida en la atmósfera. Estos gases pueden ser oxígeno, dióxido de carbono, o estar contaminada con gases industriales tales como óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y materiales suspendidos.

Muchos compuestos comunes en la superficie terrestre también son disueltos por el agua que cae sobre ella por efecto de la filtración.

En las aplicaciones industriales, la presencia de minerales disueltos en realidad hace que el agua sea menos o más corrosiva, más o menos incrustante o ensuciante; por lo tanto, necesitamos conocer los tipos de impurezas que están presente y cuales son sus implicancias. Ver tabla 1.

Tabla 1: Tipo de impurezas y sus efectos

Componentes	Formula Química	Efectos
Turbidez	Ninguna	Ensuciamiento en líneas, equipos. Mala apariencia.
Dureza calcio y magnesio	CaCO ₃ , MgCO ₃ y Mg(OH) ₂	Incrustación en equipos. Fuente principal de incrustación en los equipos
Alcalinidad	-Bicarbonato de calcio HCO ₃ ⁻ -Carbonato CO ₃ ⁻ -Hidróxido OH ⁻	Valores altos favorecen a la incrustación y a la formación de espuma y arrastre sobre todo en Calderas.
Dióxido de carbono	CO ₂	Corrosión
Ph	PH=log(1/(H ⁺))	De acuerdo a su valor el agua tendrá efecto corrosivo o incrustante.
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	Puede formar incrustaciones de calcio
Cloruro	Cl ⁻	Aumenta el carácter corrosivo del agua; puede perforar el acero inoxidable
Nitrato	NO ₃ ⁻	Fuente de alimento para microorganismos
Fluoruro	F ⁻	No es muy significativo industrialmente.
Sodio	Na ⁺	Agrega contenido de sólidos
Sílice	SiO ₂	Incrustación
Hierro	Fe ²⁺ Fe ³⁺	Fuente de depósitos; descolora el agua.
Aluminio	Al ³⁺	Puede causar depósitos
Oxígeno	O ₂	Corrosión
Sulfuro de hidrógeno	H ₂ S	Corrosión severa en metales amarillos. Mal olor.
Amoníaco	NH ₃	Corrosión en aleaciones de cobre y cinc; alimento de microorganismo.
Sólidos Suspendidos	SS	Ensuciamiento en los equipos
Sólidos Disueltos Totales	TDS	Contribuye a la formación de depósitos.

IV.3. Sistemas de Agua de Enfriamiento

Los sistemas de agua de enfriamiento son una parte integral de las operaciones de la planta. Ellos enfrían procesos en las plantas de energía, fabricas de papel, plantas químicas, plantas de alimentos, refinerías, plantas de acero, hospitales y edificios comerciales, sólo por mencionar algunas aplicaciones. Aunque existen muchos tipos distintos de sistemas de enfriamiento, todos ellos tienen un objetivo común: enfriar los procesos y equipos de la planta.

IV.3.1. Tipos de Sistemas de Enfriamiento

Los sistemas de enfriamiento industriales se clasifican en tres categorías: de un solo paso, cerrados y de recirculación abiertos.

Sistema de Enfriamiento de un solo Paso

Las industrias usan grandes cantidades de agua para remover calor de las corrientes del proceso. Para ello las plantas son construídas cerca de una fuente de agua: río, lago o mar, del cual toman el volumen de agua que necesitan para circular por su proceso retirando calor y luego descargan a la misma fuente en un punto corriente abajo. El agua pasa a través de la planta una sola vez. Estos tipos de sistemas son llamados sistemas de enfriamiento de un solo paso.

Los sistemas de un solo paso todavía son usados, primariamente en industrias de generación de vapor. Debido a las regulaciones ambientales y al deseo de controlar la contaminación térmica, estos sistemas ya no son tan ampliamente usados como en el pasado.

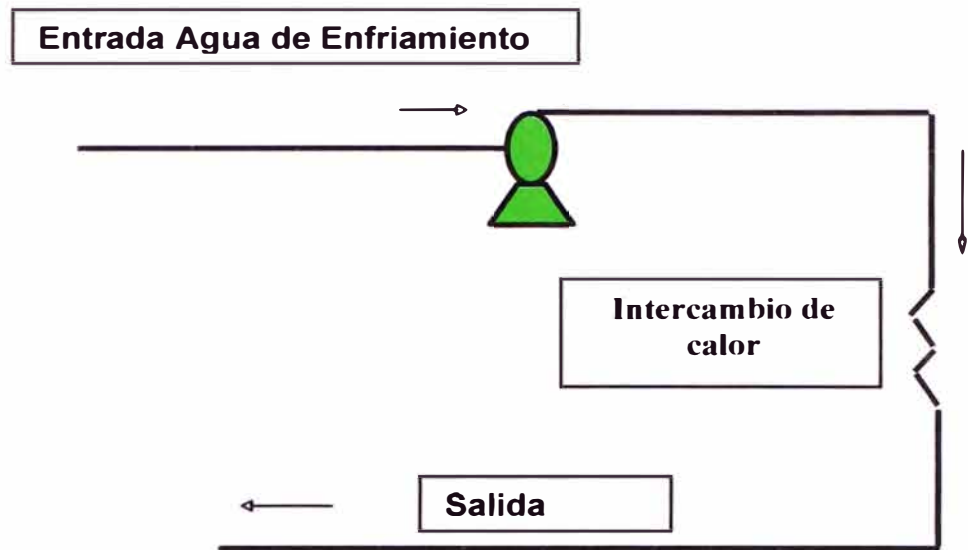


Gráfico 1: Sistema de un Solo Paso

Sistema de Enfriamiento Cerrado

Los sistemas de enfriamiento cerrados son frecuentemente usados en la industria para una gran variedad de aplicaciones. Un buen ejemplo de un sistema de enfriamiento cerrado es un automóvil. El sistema de enfriamiento remueve calor del motor. Es luego enfriado por el aire en el radiador del auto. En el sistema de enfriamiento de un automóvil, tal como en la mayoría de los sistemas de enfriamiento cerrados, el agua permanece bajo forma líquida por todo el circuito de enfriamiento y es reusada muchas veces.

Los sistemas de enfriamiento cerrados exigen dos intercambiadores de calor, uno que enfría el proceso(y calienta el agua) y el otro que enfría el agua para que pueda ser reusada. Los sistemas de enfriamiento cerrados típicos exigen muy poca agua de reposición porque las pérdidas de agua son generalmente pequeñas; sin embargo, algunos sistemas pierden una cantidad substancial de agua recirculante. Los sistemas de enfriamiento cerrados, que pierden grandes cantidades de agua exigen más tratamiento

químico, porque los productos químicos se pierden junto con el agua del sistema.

La mayoría de los sistemas de enfriamiento cerrados están llenos con agua de reposición de buena calidad, que puede ser agua ablandada o desmineralizada, o condensado retornado desde el sistema de vapor de la planta. Como estas fuentes de agua no contienen minerales formadores de incrustación ni altos niveles de sólidos suspendidos, generalmente no se encuentra ensuciamiento o incrustación en los sistemas cerrados. El mayor problema en sistemas cerrados proviene de corrosión y depósitos de productos de corrosión que se acumulan en el sistemas. Por lo tanto, los tratamientos químicos de sistemas de enfriamiento cerrados generalmente tienen por foco la inhibición de la corrosión dentro del circuito de enfriamiento.

Aunque los sistemas cerrados tengan menor tendencia a la contaminación microbiológica comparados a sistemas de recirculación abiertos, pueden ocurrir problemas microbianos. Estos es especialmente cierto en sistemas que presentan altas pérdidas de agua.

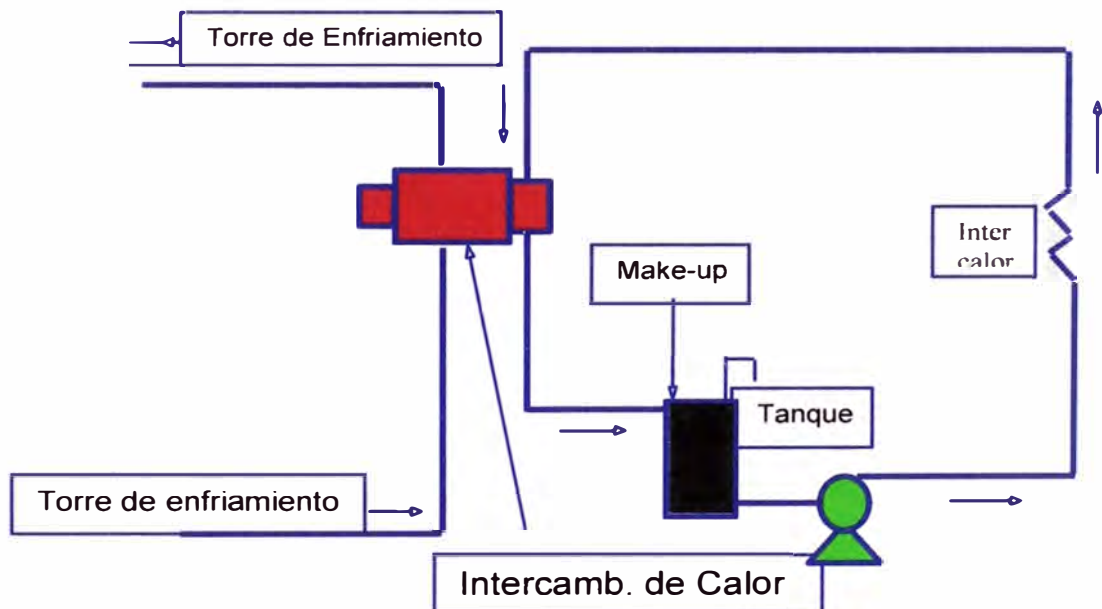


Gráfico 2: Sistema de Enfriamiento Cerrado

Sistema de Enfriamiento de Recirculación Abierto

Los sistemas de enfriamiento de recirculación abierta son empleados en casi todas las industrias, y proveen un medio muy eficiente de enfriar distintos procesos. En estos sistemas, el agua enfría el proceso pasando por los intercambiadores de calor. Sin embargo, en lugar de ser directamente descargada de la planta (tal como ocurre en sistemas de enfriamiento de un solo paso) el agua caliente es enfriada por algún método y recirculada a través del sistema. De esa forma, se reduce la cantidad de agua usada por la planta.

Después que el agua de enfriamiento es calentada por el proceso en un sistema de recirculación abierto, ella es enfriada por evaporación y transferencia del calor sensible, sea en lagunas de rocío, torres de enfriamiento o condensadores evaporativos.

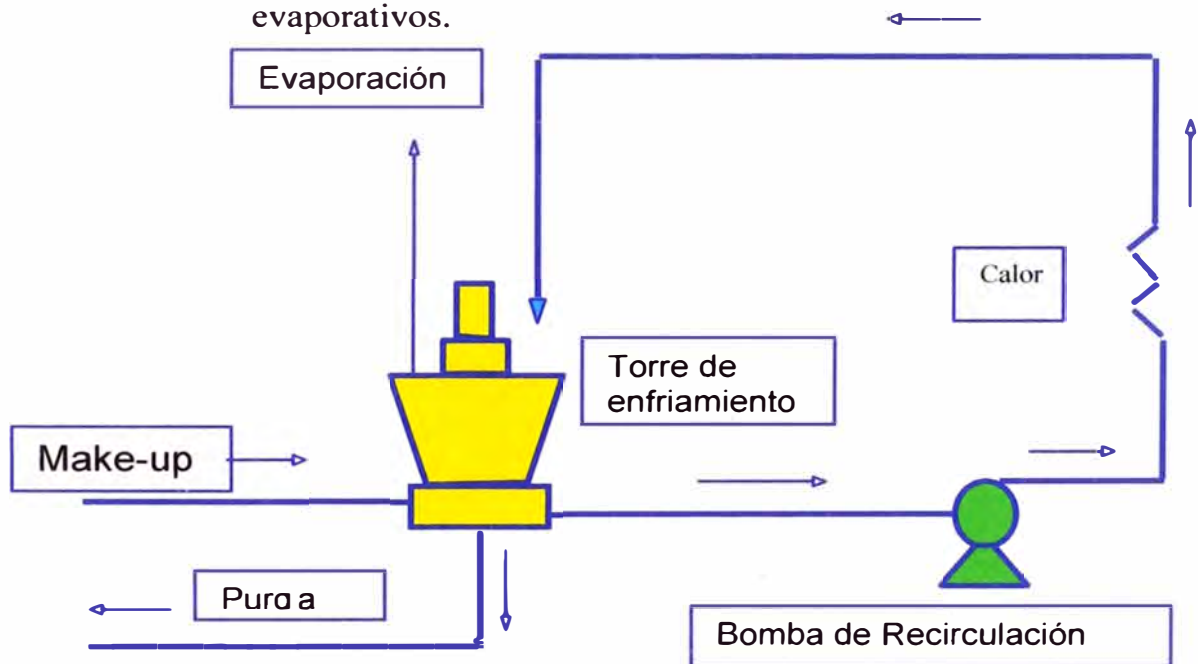


Gráfico 3: Sistema de Enfriamiento de Circulación Abierta

El medio más común de enfriar el agua en una planta es, sin duda, una torre de enfriamiento. Usando evaporación para enfriar el agua del sistema, ella puede ser reusada en lugar de ser descargada al medio ambiente. Eso reduce notablemente el volumen de agua efluente removida del proceso.

Los sistemas de enfriamientos de recirculación abierta usan una variedad de fuentes de reposición, incluso agua de río o lago clarificada, ablandada con cal o no tratada. Otras fuentes incluyen agua de pozo y a veces corrientes de efluentes del proceso. Por lo general, no es económico remover todos los minerales y sólidos del agua de reposición, entonces el tratamiento químico de sistemas de recirculación abiertos debe tratar no solamente la corrosión, sino que también la incrustación y ensuciamiento. Debido a las condiciones del agua dentro de un sistema de recirculación abierto, la contaminación microbiológica por bacterias, algas y hongos también se presenta.

IV.3.2. Equipos Industriales de Agua de Enfriamiento

Los equipos industriales más usados para agua de enfriamiento son Torres de Enfriamiento, y los dos diseños que se tienen son: Torres de tiro natural y Torres de tiro mecánico

Torres de tiro Natural

Las torres de enfriamiento de tiro natural dependen de la fuerza natural de movimiento del aire a través de la sección de enfriamiento. Ellas pueden ser subdivididas en dos tipos: *atmosféricas e hiperbólicas*.

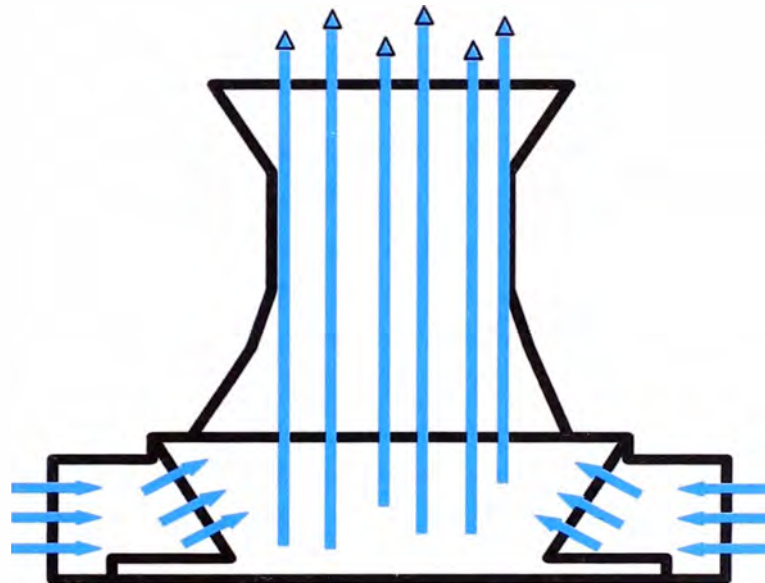


Gráfico 4: Esquema de una torre Natural

Torre Atmosférica

Las torres atmosféricas son relativamente simples, consistiendo en unos recintos más pequeños que una persianas que conteniendo un sistema de aspersion de agua. El aire ingresa a través de una larga rejilla de ventilación que pasa horizontalmente por la cámara llena de agua, y sale por la parte opuesta de la rejilla de ventilación. La larga rejilla de ventilación es expuesta a la dirección en que predomina el viento para conseguir un máximo flujo de aire. La torre es relativamente estrecha en la dirección del flujo de aire para conseguir que la trayectoria del aire se corta con baja resistencia.

Torre Hiperbólica

En este tipo de torre de tiro natural, el agua caliente del proceso calienta el aire en el interior de la base de la torre. El aire caliente tiene densidad más baja que el aire frío, así el aire caliente sube por la torre. A medida que el aire caliente sube, disminuye la presión de la base de la torre, atrayendo aire frío, más seco para el interior de la torre a través de las entradas de aire en la base. El aire es calentado y sube, como en una chimenea, sacando aire del agua, aumentando la evaporación. El uso más común de torre hiperbólica se encuentra primariamente en plantas de energía. En la foto de la siguiente pagina ilustra una torre hiperbólica. La altura extrema de la torre reduce el potencial de pérdida de agua causada por arrastre y estimula un flujo de aire eficiente.

La eficiencia de la torre de tiro natural depende de la diferencia de temperatura entre aire caliente, aire húmedo dentro de la torre y aire frío, más seco, fuera de ella. Cuanto más pequeña la diferencia, menor será la fuerza impulsora de

la evaporación y menor la eficiencia de la operación de enfriamiento dentro de la torre. La humedad y la temperatura tienen un papel importante en el desempeño de una torre de tiro natural.

La altura de la torre debe ser sobre los 122m. Tiene la forma de una chimenea la que consta de un espacio vacío. A bajo de los 9 metros ó más sobre la succión de aire, contiene el material de relleno sobre el cual el agua caliente es distribuida.

La forma hiperbólica es debido en gran parte a las ventajas estructurales sobre el lado recto del diseño de la chimenea.

Una ventaja significativa en la torre hiperbólica es que esta requiere mucho menos espacio que la unidad de flujo mecánica de capacidad comparable. La mayor limitación de este tipo de torres es el alto costo inicial, el que está balanceado de algún modo por el ahorro en el poder de ventilación.

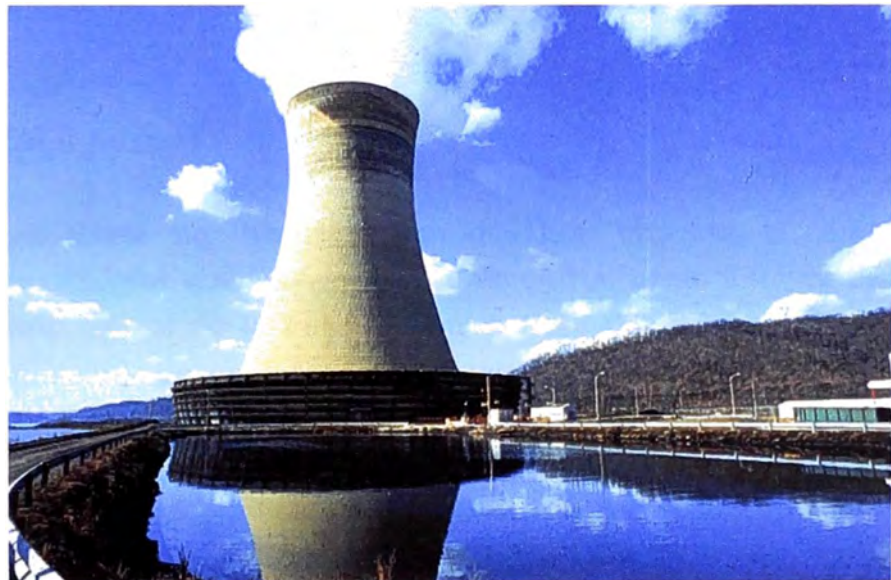


Gráfico 5: Torre Natural Hiperbólica

Torre de flujo mecánico

Las torres de flujo mecánico cuentan con ventiladores para el movimiento de aire a través del relleno de la torre de enfriamiento. Esto hace que la torre de enfriamiento sea independiente a las condiciones climáticas, a no ser de la temperatura del bulbo húmedo. Una mayor velocidad de aire permite un mejor enfriamiento bajo condiciones más controladas, y usualmente el primer costo de instalación resulta más económico comparado con la torre de flujo natural.

Las torres de flujo mecánico están usualmente equipadas con más de un ventilador para proveer mayor flexibilidad en el control de temperatura para esos periodos del año cuando la temperatura de bulbo húmedo es menor que las establecidas por las condiciones de diseño. El movimiento del aire debe ser controlado por motores de velocidad múltiple, cambios variables de velocidad o grado variable del ventilador.

Las torres de flujo mecánicas están divididas en dos categorías: *Flujo forzado* y *Flujo inducido*

Flujo forzado

Las torres de tiro mecánico de flujo cruzado, tienen los ventiladores que fuerzan el aire de enfriamiento a través de la parte lateral de la torre, a contra flujo del agua. La mezcla íntima de agua caliente y aire causa evaporación del agua.

Cuando el agua evapora, ella suprime una considerable cantidad de calor. Esto enfría el líquido remanente. El efecto se llama enfriamiento evaporativo. Las torres de tiro forzado tienen un sistema de distribución de agua para proveer una distribución uniforme de agua a través del volumen principal de la torre. Además, el volumen operante principal de la torre contiene un relleno, y una serie de repartidores que quiebran

el agua entrante en gotas. La reducción del agua entrante en gotas optimiza la transferencia de calor del agua caliente para el aire frío entrante y permite evaporación máxima. Para minimizar las pérdidas de gotas de agua, se instalan eliminadores de gotas en el tope de la torre.

Para mantener el flujo de aire, los laterales de una torre de tiro forzado están envueltos por paneles. Los ventiladores están equipados con velocidades de impulsión distintas y sus láminas pueden ser reguladas para controlar el caudal de aire que pasa a través de la torre.

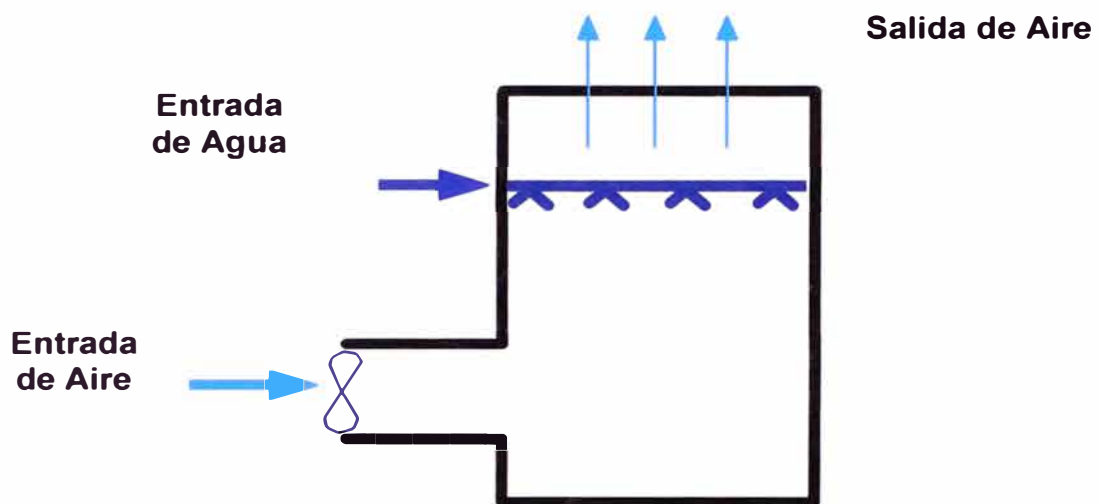


Gráfico 6: Esquema de una Torre de flujo mecánico-Flujo Forzado

Flujo Inducido

En las torres de tiro mecánico de flujo inducido, los ventiladores están ubicados en la salida de la torre y esencialmente tiran el aire para adentro en lugar de empujarlo. Existen dos opciones más de diseño con ese arreglo: contra

flujo y flujo cruzado. La dirección del agua diferencia los diseños respecto al aire de enfriamiento.

En un diseño de contra flujo, aire y agua se mueven en direcciones opuestas a través de la torre. Este diseño provee eficiencia máxima de enfriamiento. El aire más frío contacta el agua más fría, transfiriendo el máximo posible de calor. Por otro lado, se exige una energía de ventilador mayor de lo que se necesita en el caso del modelo de flujo cruzado.

En un diseño de flujo cruzado, el aire se mueve perpendicularmente al agua. Ambos diseños funcionan eficientemente, pero las unidades de flujo cruzado están más propensas a ataque biológico, y debido a una pequeña pérdida de eficiencia, exigen mayores volúmenes de aire que los diseños de contra flujo.

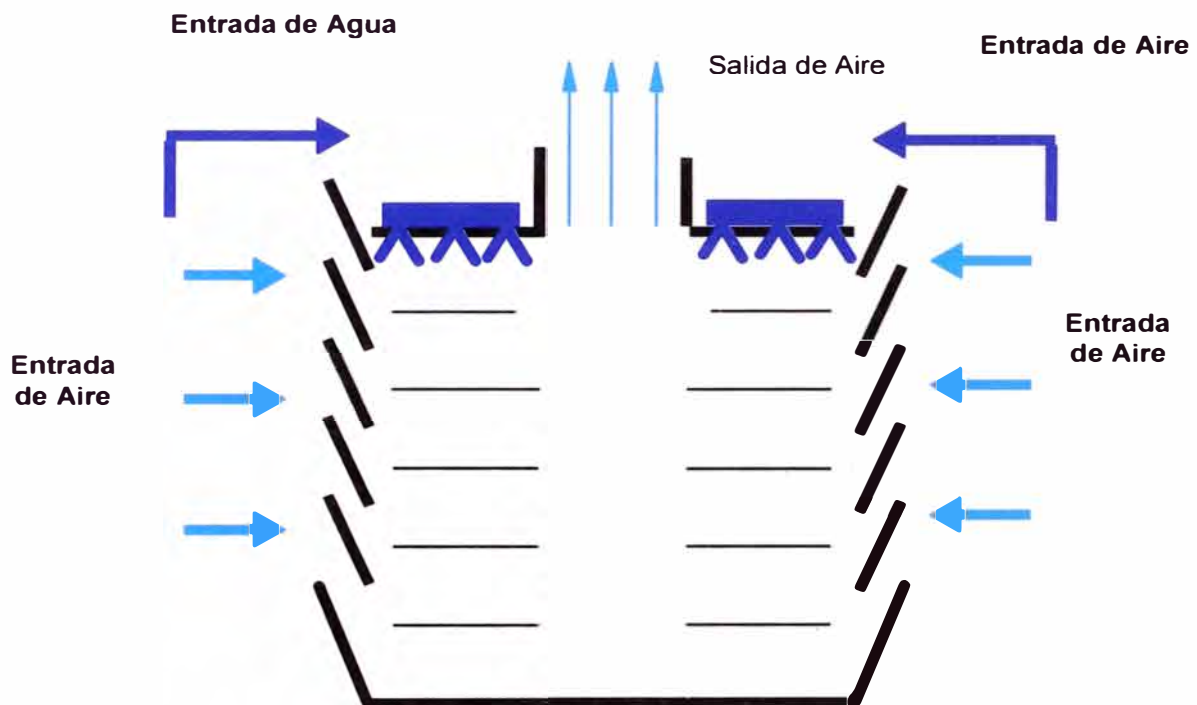


Gráfico 7: Esquema de una Torre de flujo mecánico-Flujo Inducido

IV.3.3. Componentes de los equipos de enfriamiento

Componentes de las Torres de Enfriamiento

Todas las torres de enfriamiento poseen partes comunes y para cada parte existe una terminología. Describiremos las partes principales, usando como referencia una unidad grande de flujo cruzado. Ver gráfico 8.

Componentes Estándar

- Chimenea de ventilación
- Puerto de inspección
- Ventilador de laminas
- Tubo múltiple de retorno de agua caliente
- Caja de distribución
- Boquillas de distribución
- Respiraderos
- Relleno
- Estructura de soporte de relleno
- Eliminadores de desviación
- Plenum
- Pileta o batea de agua fría

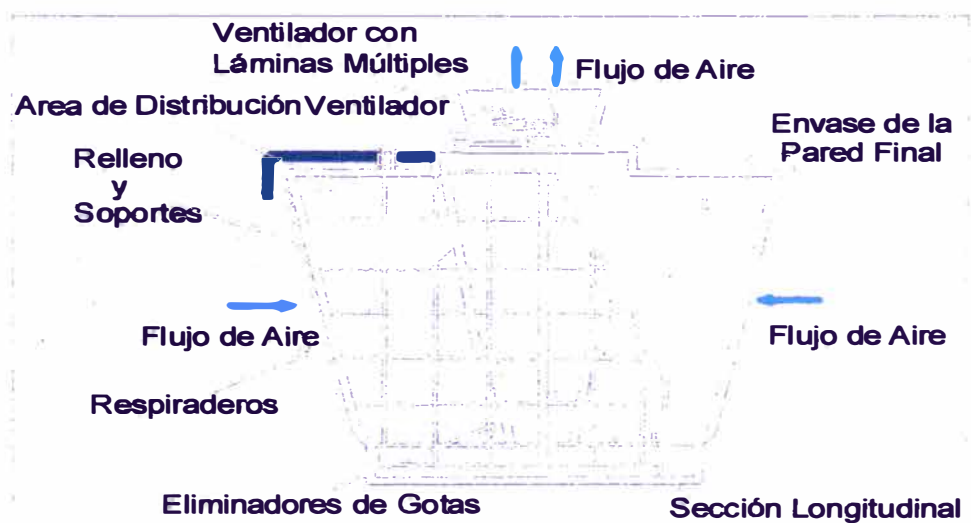


Gráfico 8: Esquema de los componentes de una torre de Enfriamiento

La chimenea de ventilación es frecuentemente hecha de fibra de vidrio para que tenga poco peso y sea resistente. El puerto de inspección provee acceso visual al área del ventilador. Las laminas del ventilador son con frecuencia hechas de fibra de vidrio. El equipo mecánico de apoyo provee piso en el tope de la torre. Los controles de los motores eléctricos pueden ser operados localmente en el tope de la torre, o estar ubicados en una cámara de control remoto. En el diseño de flujo cruzado, el agua caliente entra a través de un gran tubo múltiple(manifold) para distribución entre varias unidades. Cada sección de una torre de enfriamiento con unidades múltiples se llama celda.

Desde el tubo múltiple, el agua que entra pasa por una serie de cajas de distribución, llegando a una laguna de agua caliente, la cual a su vez está equipada con una cantidad de boquillas de distribución. El propósito de este grupo de componentes es distribuir el agua entrante de manera homogénea a través de toda la torre.

El aire entra por los laterales inclinados de la torre, a través de una serie de respiraderos, con frecuencia equipados con protectores de salpicaduras o protectores de agua. El agua del sistema de distribución cae en forma de cascada a través del área de enfriamiento de la torre, contactando el aire entrante. La parte de enfriamiento de la torre tiene un relleno, que hace al agua chapotear continuamente, formando gotas, lo que provoca que el agua pase como finas películas. Ambos métodos causan evaporación.

El aire frío es colectado en un plenum, después de pasar a través de niebla o eliminadores de desviación, que mantienen las gotas de agua fuera del plenum. El aire calentado es tirado a través del plenum por medio de un ventilador de techo.

El agua caliente, antes de retornar a la torre, y el agua enfriada de la torre, con frecuencia son colectadas en lagunas abiertas llamadas colectores. El colector frío también es llamado pozo frío. Las cribas evitan la circulación de desechos a través de la torre. El agua que proviene de la laguna de agua caliente es enviada a la torre por pequeñas bombas de circulación. El agua enfriada es enviada al proceso por bombas de agua de enfriamiento.

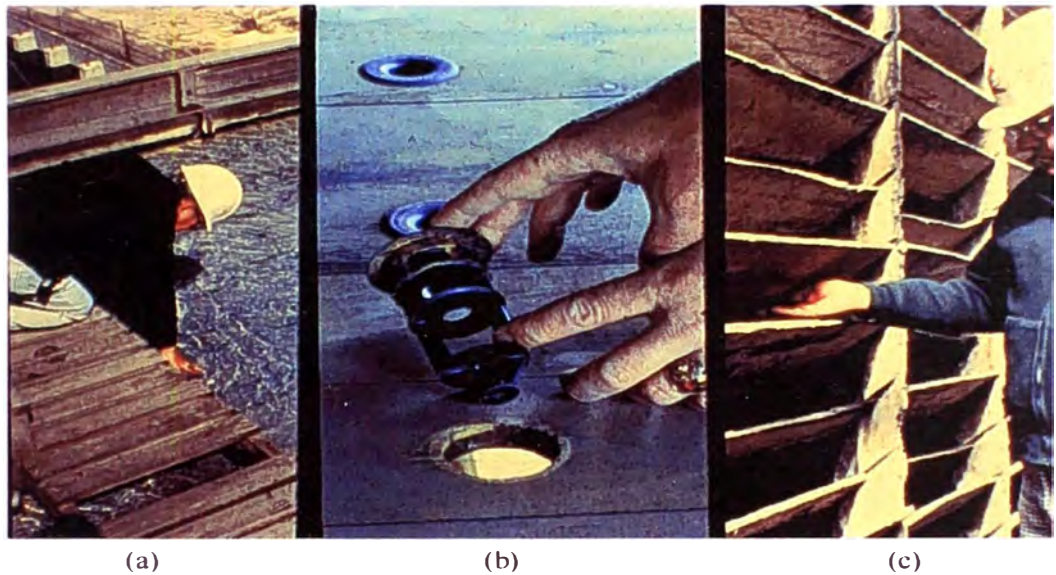


Gráfico 9: Esquema gráfico de componentes de una torre

- a) Caja de Distribución
- b) Boquillas de distribución
- c) Respiraderos

IV.3.4. Eficiencia de los equipos de enfriamientos.

La fuerza motriz por detrás de la operación de cualquier torre de enfriamiento es la evaporación de agua. Según se indicó, una consideración operacional importante es la humedad del aire frío que entra. Si la humedad relativa fuera elevada, la tasa de evaporación se reduciría, pues la fuerza motora de evaporación no sería tan grande como es con aire más seco, que puede absorber más agua evaporada del sistema.

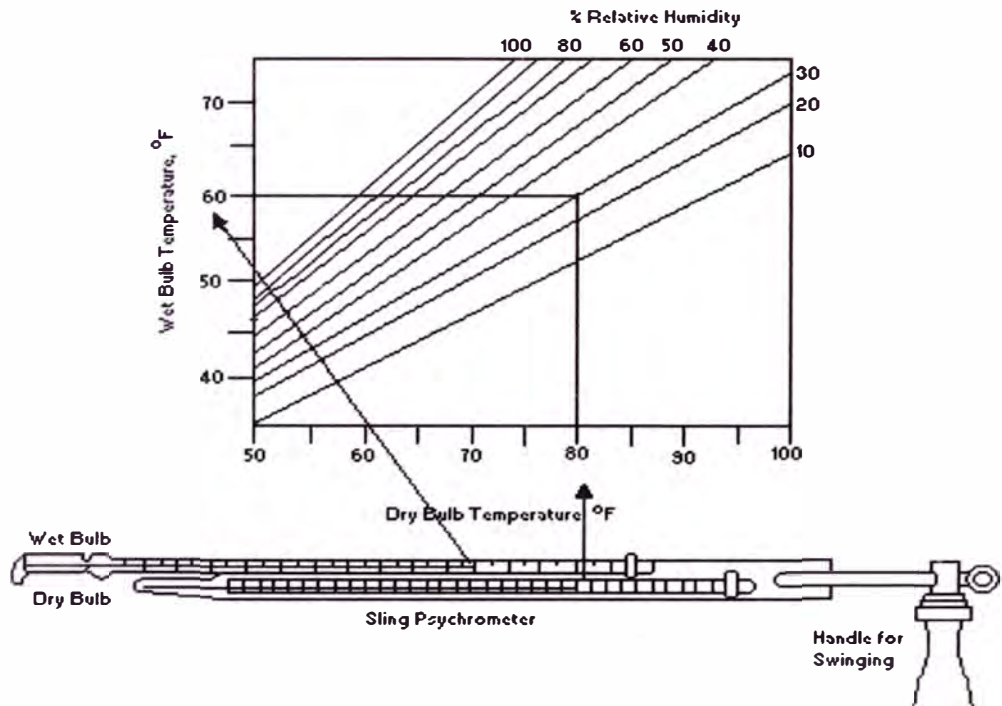


Gráfico 10: Psicrómetro Sling

La medición de esta fuerza motriz es llamada aproximación de la torre. Está relacionada a las temperaturas medidas por un psicrómetro, aparato usado para determinar la humedad relativa del aire. El psicrómetro posee un termómetro de bulbo seco estándar y un termómetro de bulbo húmedo, cuyo bulbo sensor de temperatura es mojado con agua por una malla de tejido. Debido a la evaporación de agua, la temperatura del bulbo húmedo es más baja que la de bulbo seco. Cuando más baja la humedad relativa, tanto más agua evapora y mayor la diferencia de temperatura.

La lectura del bulbo húmedo representa la temperatura más baja hasta la cual se puede enfriar el aire por evaporación. También representa la temperatura del agua fría de la torre de enfriamiento si la torre estuviera operando al 100% de su eficiencia. La aproximación de la torre es la diferencia entre la temperatura del bulbo húmedo y la temperatura del colector de agua enfriada. Cuando menor es esa diferencia, tanto más eficiente es la torre.

IV.3.5. Balance de Masa y Energía

Existe una relación fundamental entre la cantidad de agua evaporada en la torre, la pérdida de agua del sistema de enfriamiento, y la cantidad de agua de reposición agregada al sistema. Esta relación es llamada balance del agua alrededor de la torre, las ecuaciones que se muestran a continuación se derivan de dos principios básicos: Balance Masa y Balance de Energía.

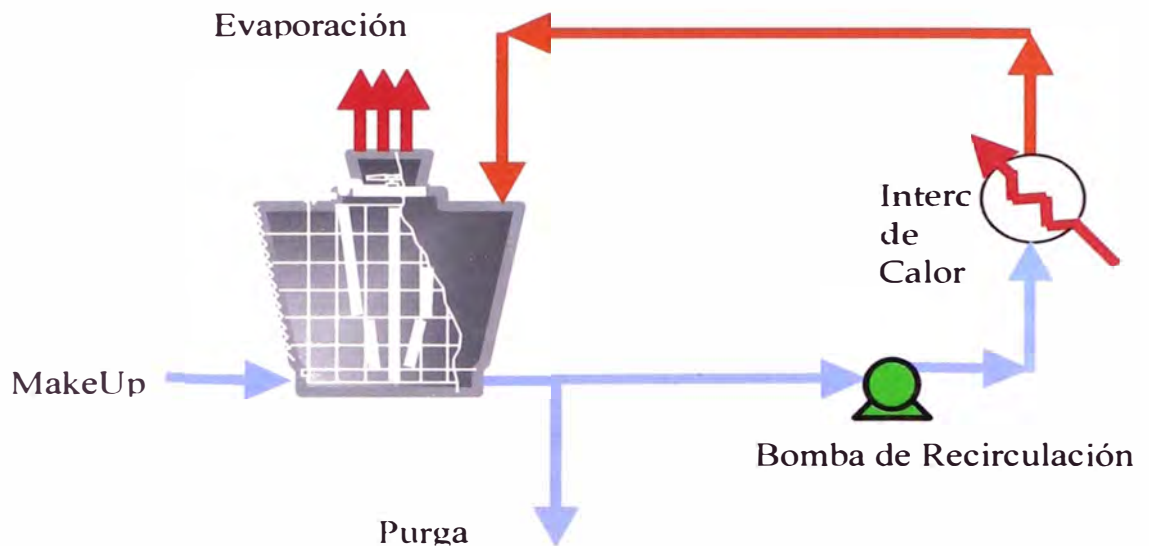


Gráfico 11: Balance de agua

Balance de Masa:

$$\mathbf{MU = E + BD}$$

MU : Make Up (Reposición), m³/h

BD : Purga (Intencional purga + otras pérdidas líquidas)
m³ /h

E : Caudal de evaporación , m³/h

Balance de Energía:

En una torre de enfriamiento por evaporación dominan dos mecanismos de extracción de calor: extracción de calor por evaporación y transferencia de calor sensible. La transferencia de calor sensible se refiere al calor transferido en virtud de una diferencia de temperatura entre el agua y el aire. La extracción de calor por evaporación se refiere a la extracción de la energía del agua como calor latente de evaporación.

Las pérdidas de agua por evaporación en torres de enfriamiento son función del calor extraído, y existe varios estudios de modelos matemáticos para el cálculo; ver trabajo de Eaton, bibliografía 7.

En el trabajo común de tratamiento de agua, para el cálculo usamos una ecuación aproximada, basada en la experiencia: Por cada libra de agua evaporada, la torre de enfriamiento remueve aproximadamente 1000Btu del agua; de ello se deduce que se evapora 1% de agua por cada 10 °F de caída de temperatura a través de la torre de enfriamiento. La siguiente ecuación describe la relación entre la evaporación, el caudal de recirculación y el delta de temperatura, ver Handbook de Betzdearborn:

$$E = \frac{Q_r (\Delta T) f}{556}$$

E : Evaporación, m³/h

Q_r : Caudal de Recirculación, m³ /h

ΔT : Delta de temperatura, °C

f : Factor de evaporación.

El factor de evaporación, f, varía con la humedad relativa y la temperatura de bulbo seco; el valor para estos sistemas esta entre 0.75 y 1.0. Por simplicidad de cálculo se asume 1.0, generalmente.

El agua que se pierde del sistema a través de evaporación y purga debe ser reemplazada. El agua de sustitución es llamada agua de reposición o Make Up. Con la reposición de agua ingresan sales disueltas, según la calidad de agua a usar; en el sistema, las sales que ingresan se concentran por el fenómeno de evaporación descrito.

Para limitar la concentración de los sólidos disueltos en el agua de la torre, una parte del agua con alto contenido de sólidos debe ser removida de manera controlada. Eso constituye una purga intencional, mencionada anteriormente. La purga es monitoreada y controlada con base en el número de ciclos deseados en el sistema de la torre de enfriamiento.

Seguidamente mencionamos diversas ecuaciones que relacionan ciclos de concentración, purga y reposición en un sistema de enfriamiento. Ver Handbook de BetzDearborn.

$$CC = MU / BD = I_{BD} / I_{MU}$$

CC : Ciclo de Concentración

MU : Caudal de reposición, m³ /h

BD : Caudal de purga, m³/h

I_{BD} : Concentración iónica en la purga

I_{MU} : Concentración iónica en la reposición

IV.3.6. Equipo Complemento al Sistema de Enfriamiento

Intercambiador de Calor

Los intercambiadores de calor son la otra mitad de un sistema de agua de enfriamiento. Tienen distintas formas y tamaños. El más resistente es el intercambiador de calor de tubo y carcasa. El diseño más común es el intercambiador de dos pasos con agua en el lado del tubo y la corriente caliente del proceso en el lado de la carcasa.

El agua es distribuida uniformemente a todos los tubos inferiores, y fluye por todo el largo del intercambiador para el cabezal posterior, generalmente llamado cabezal flotante; el agua retorna entonces a través de los tubos remanentes de vuelta a la mitad superior del cabezal y sale por el tope del intercambiador, volviendo a la torre de enfriamiento. El agua hace dos pasos a través del haz de tubos, y en cada paso retiene calor del proceso, lo que le da al intercambiador su nombre: intercambiador de dos pasos.

En algunas aplicaciones, el agua es circulada en el lado carcasa del intercambiador y el proceso fluye a través de los tubos. En este tipo de intercambiador, el caudal del agua a través del intercambiador es extremadamente importante. Las áreas de bajo flujo en el lado carcasa pueden promover depósitos de sólidos suspendidos y contribuir a la presencia de tres enemigos básicos del desempeño del intercambiador: Corrosión, incrustación y ensuciamiento orgánico.

El intercambio de calor ocurre debido a la diferencia en las temperaturas del proceso y del agua de enfriamiento. El calor pasa del fluido del proceso a través de las paredes metálicas de los tubos hacia el agua que está circulando a través del sistema. El calor es retirado en la torre de enfriamiento por evaporación. Debe notarse que el agua más fría es generalmente diseñada para encontrar la corriente más caliente del proceso en el intercambiador.

Los problemas operacionales que ocurren en los intercambiadores con frecuencia resultan de cambios drásticos en el caudal de agua o fluido del proceso y la desviaciones de diseño y carga de calor. Si estos parámetros cambiaran substancialmente, la eficiencia del intercambiador se reduce sensiblemente.

Análisis de Operación de un Intercambiador

Una vez que es fijado el área de transferencia de calor, nosotros debemos determinar la carga de calor (Q) y la diferencia de temperatura (ΔT), para calcular el coeficiente de transferencia de calor (U). El coeficiente es siempre calculado, nunca medido directamente.

El calor sensible (Q) puede hallarse por determinación de la pérdida o ganancia del calor del otro fluido.

$$Q = M \times C_p \times (\Delta T)$$

M : Flujo del proceso, kg/h

C_p : Calor específico del fluido, kgcál/kg - °C

C_p del agua aproximadamente 1 kgcál/kg - °C

ΔT : Diferencia de temperatura del fluido, °C

Asumiendo que no hay pérdidas externas, el fluido frío recibe tanto calor como el fluido caliente le da. Por esta razón, él otro fluido puede ser usado para determinar Q. Cuando ocurre la condensación, el calor latente de vaporización debe agregarse al calor sensible transferido. El calor de vaporización es:

$$Q = M \times \Delta h$$

M : Flujo del proceso, kg/h

Δh : Calor de vaporización,

Para el agua, Δh es aproximadamente 556 kcal/kg. Las tablas de vapor pueden ser consultados para valores exactos a diferentes presiones.

Si Q es constante durante el monitoreo, es fácil de seguir los cambios en el coeficiente. Dado que el calor (Q) y el área (A) son constantes, se reduce a una ecuación básica de transferencia de calor:

$$Q = U \times A \times \Delta t$$

ó

$$Q / A = \text{flux} = U \times \Delta t$$

IV.4. Problemas característicos en los Sistemas de Enfriamiento

IV.4.1. Corrosión

Conceptos generales de la corrosión

Cuando ocurren fugas de un intercambiador de calor, por lo general es debido a la **corrosión**, la cual es una reacción electroquímica entre un metal y su ambiente. El acero de un intercambiador no protegido, reacciona con el ambiente y se corroe. Durante la corrosión, el oxígeno del agua es usado en reacciones químicas para formar óxido de hierro. La corrosión aparece como adelgazamiento de los tubos o picado (pitting) de la base metálica. Esto puede causar fuga o falla crítica del intercambiador de calor que puede significar paros no planificados, que resultan en un aumento de los costos operacionales.

Además de la pérdida de metal, los productos de la corrosión (óxidos de hierro o herrumbre) pueden migrar a través del sistema de enfriamiento y depositarse en otras áreas. Si ellos se depositan en otro intercambiador de calor, reducen la eficiencia de su transferencia de calor. Eso aumenta los costos de producción. El control de la corrosión siempre reduce los costos operacionales.

El acero al carbono es el metal primario usado en la mayoría de los sistemas de enfriamiento; sin embargo, también se usa acero inoxidable, cobre y aleaciones de cobre. Estos metales generalmente son más resistentes a la corrosión que el acero al carbono, sin embargo reaccionan también con oxígeno y se corroen.

IV.4.1.1 Química de la Corrosión

La corrosión es una reacción electroquímica entre un metal y su medio. Los electrones se mueven dentro del metal. Los electrones fluyen del ánodo de una celda de

corrosión al cátodo, donde los iones hidróxido son producidos mediante reacción con agua. Razón por la cual algunas áreas de superficie metálica se portan como ánodos y otras áreas como cátodos.

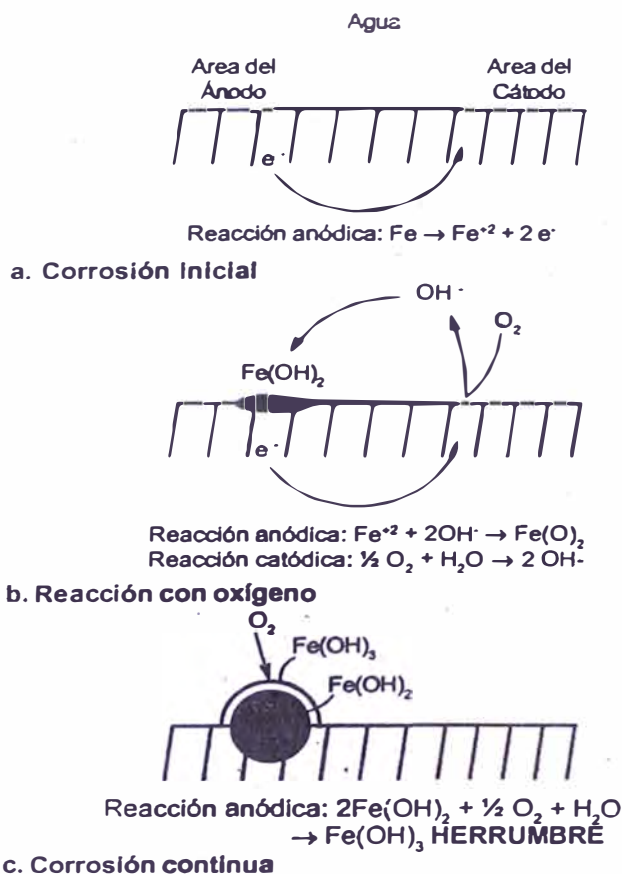


Gráfico 12: Celda de corrosión

El oxígeno disuelto en el agua debido al contacto con el aire, reacciona con la superficie metálica para formar hidróxido de hierro. Se forman productos de corrosión, que son insolubles en agua. Estos productos de corrosión se acumulan sobre la superficie donde se producen. Si no son controlados, la corrosión sigue hasta que se forma una perforación en el tubo y ocurre la fuga.

En un sistema de enfriamiento, la corrosión aparece como un adelgazamiento general (**Corrosión generalizada**) o corrosión intensa en puntos específicos (**pitting**). El pitting o picado es más peligroso que la corrosión generalizada porque es muy concentrado. Cuando ocurre el “pit”, se perfora el metal, pudiendo ocurrir una falla en poco tiempo.

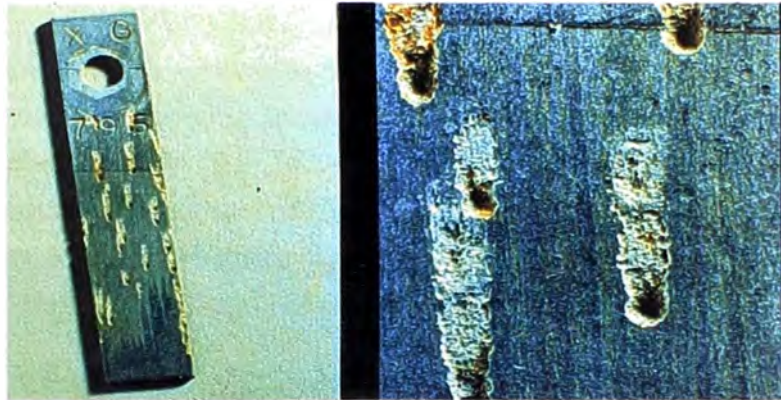


Gráfico 13: Corrosión por pitting

Un tipo especial de corrosión ocurre cuando dos metales distintos están en contacto en el agua. El metal más fuerte, más noble, actúa como cátodo. El metal más débil como ánodo y empieza a corroerse. Esto se denomina **corrosión galvánica** y es común en sistemas de enfriamiento de aguas.

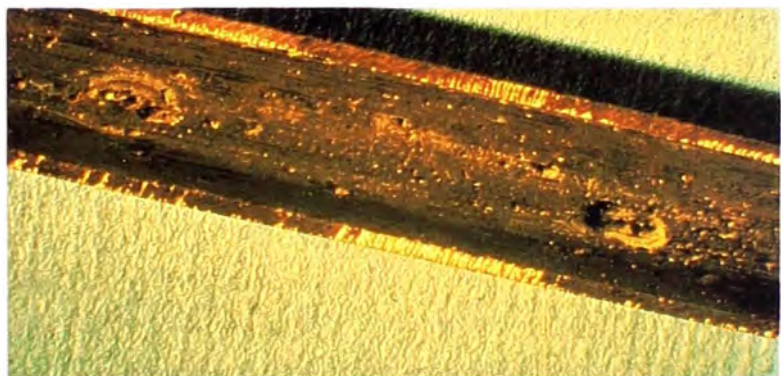


Gráfico 14: Corrosión galvánica inducida por cobre

Otro tipo de corrosión, que puede ocurrir en sistemas de enfriamiento, es **lixiviación selectiva**. En este caso, la corrosión ataca un elemento de una aleación. La forma más común de lixiviación selectiva en sistemas de enfriamiento es la descincificación del latón admiralty, mediante la cual el cinc es removido del latón, dejando metal de cobre puro. Desafortunadamente, el cobre remanente no es tan fuerte como el metal original. Eso hace que el tubo del intercambiador de calor descincificado sea más susceptible a falla y fugas. En sistemas de enfriamiento, la causa más importante de descincificación es la sobrealimentación de biocidas oxidantes, como cloro o hipoclorito de sodio y/o una operación de los sistemas de agua de enfriamiento con pH debajo de 7 (condiciones ácidas).

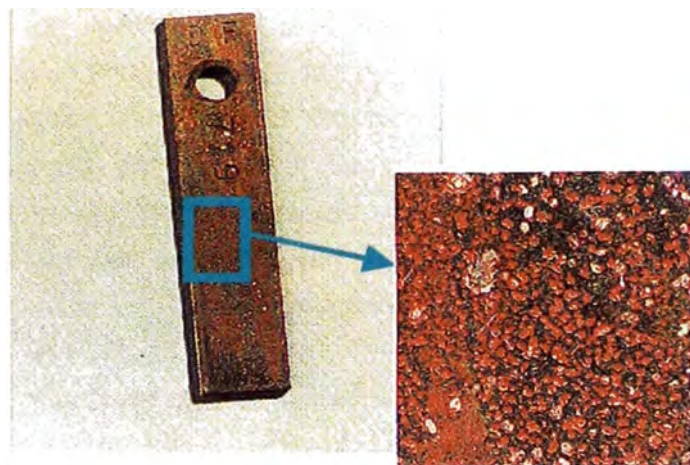


Gráfico 14: Lixiviación selectiva

Otro tipo de corrosión que a veces ocurre en sistemas de enfriamiento es la llamada **quiebra debida a corrosión por tensión**, Stress Corrosión Cracking (SCC). Es un tipo de falla muy rápida. El acero inoxidable y el latón admiralty son más susceptibles a sufrir este tipo de falla. Para que ocurra, deben estar presentes en el agua materiales corrosivos específicos, las temperaturas de los

metales deben ser altas y la base metálica debe estar bajo alguna forma de tensión. La presencia de cloruros es una causa común de SCC del acero inoxidable. La presencia de amoníaco está conectada a SCC en bronce admiralty.



Gráfico 15: Corrosión por tensión - Intergranular

Pueden también ocurrir **corrosión bajo depósitos** cuando los productos de corrosión o incrustación mineral se acumulan sobre la superficie metálica. Esto es la corrosión localizada causada por celdas de concentración de oxígeno. A medida que se forman depósitos sobre las superficies metálicas, los niveles de oxígeno debajo de los depósitos se reducen y se establece una celda de corrosión electroquímica. Esto puede hacer que el metal debajo del depósito sea rápidamente corroído, ocasionando corrosión localizada severa y perforación de la superficie metálica.

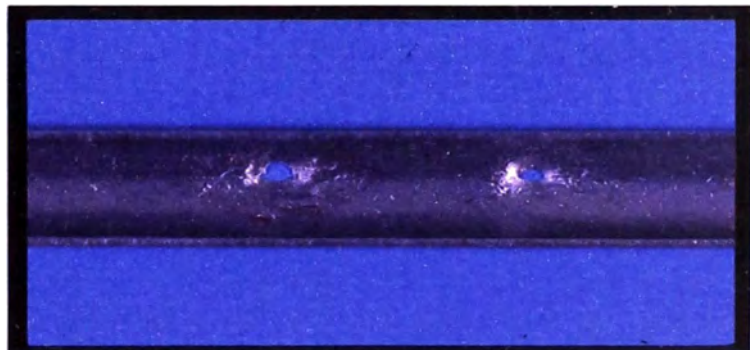


Gráfico16: Corrosión bajo depósito

Otra forma de corrosión que puede observarse en sistemas de enfriamiento es la **corrosión por influencia microbiológica o microbiologicamente inducida (MIC)**. La MIC ocurre debajo del biofilm (lodo orgánico) sobre superficies metálicas. El biofilm actúa como una barrera para los microbios, protegiendo los contra los biocidas oxidantes y no oxidantes y permitiendo que se desarrollen vigorosamente. La mayoría de los organismos segrega ácidos como parte de sus procesos metabólicos. Eso crea condiciones de bajo pH localizado debajo del biofilm, generando corrosión



Gráfico17: Corrosión por influencia microbiológica

IV.4.1.2 Factores que Influyen la corrosión

Distintos factores afectan la tasa y la severidad de la corrosión. La comprensión de estos factores permite elegir los programas de tratamiento más apropiados y ayuda a operar las torres de enfriamiento e intercambiadores de calor más eficientemente. Muchos de los factores que afectan la corrosión del sistema de enfriamiento son parte del diseño del sistema o dependen del agua de reposición.

El oxígeno es un componente clave que influye en la tasa de corrosión del sistema de enfriamiento; el oxígeno afecta la tasa de corrosión porque está involucrado en las reacciones anódicas y catódicas sobre la superficie del metal (ver gráfico 12). Cuanto más oxígeno, tanto más rápidamente ocurre la corrosión. En un torre de enfriamiento, el aire se mezcla con el agua a medida que pasa a través del relleno de la torre. El agua se satura continuamente con oxígeno. Sin oxígeno no pueden ocurrir las reacciones químicas y cesa la corrosión.



Gráfico 18: Oxígeno aumenta tasa de corrosión

La temperatura es otro factor que afecta directamente la tasa de corrosión en un sistema de enfriamiento. Generalmente, la tasa de corrosión se duplica por cada elevación de 10°C de la temperatura del agua. En la mayor parte de los casos, las temperaturas operacionales están diseñadas para el sistema de enfriamiento y no se puede hacer mucho para cambiarlas.

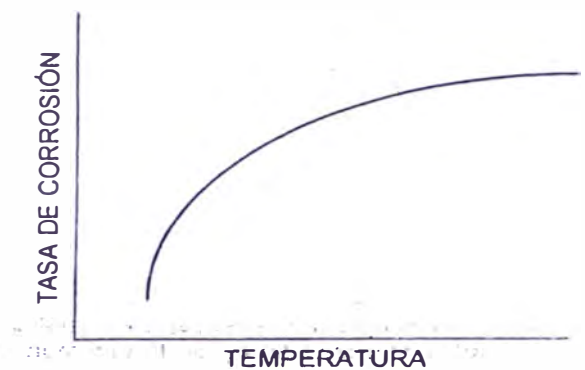


Gráfico 19: Variación de la corrosión con la temperatura

La velocidad del agua influye también en la tasa de corrosión en sistemas de enfriamiento, como se muestra en la Gráfico 20. En un rango de velocidad relativamente bajo, la tasa de corrosión tiende a crecer a medida que aumenta la velocidad del agua. Sin embargo, a una velocidad crítica, la tasa de corrosión disminuye un poco según el oxígeno sea llevado para la superficie metálica, incrementando la rápida formación de una capa protectora de óxido metálico. A medida que la velocidad aumenta más allá de aquel punto, la acción de fricción del agua comienza a remover el film protector y la corrosión tiende a aumentar.

Las velocidades son normalmente inherentes al sistema de enfriamiento y es muy difícil alterarlas. Para aumentar la velocidad, debe agregarse capacidad de

bombeo o desviar el equipo innecesario. No reducir los caudales del agua de retorno, excepto si eso fuera inevitable. Una velocidad más baja puede reducir el potencial de corrosión pero aumenta el riesgo de ensuciamiento.

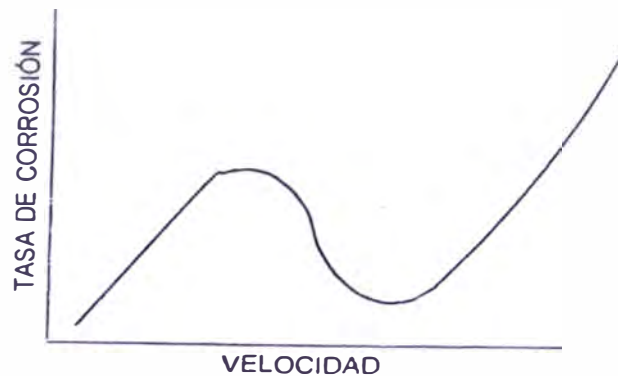


Gráfico 20: Efecto de la velocidad del agua sobre la corrosión

El pH es una medida de la acidez del agua. Su magnitud puede influenciar dramáticamente sobre la corrosión. Por lo general, cuando más bajo es el pH, mayor será la tendencia a la corrosión. En los sistemas de enfriamiento el pH es controlado, sea a través de dosificación de ácido o soda cáustica, o ajustando los ciclos de concentración en la torre de enfriamiento.

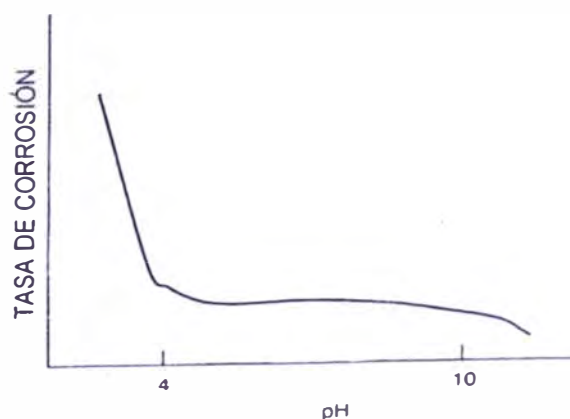


Gráfico 21: El pH como influencia en la corrosión

El contenido total de sólidos disueltos (TSD) tiene un efecto directo sobre la tasa de corrosión del hierro y del acero. Es lógico que como la corrosión involucra la transferencia de electrones dentro del metal y las correspondientes reacciones en el agua, el agua con un alto contenido iónico tenga una alta tendencia a corroer el metal.

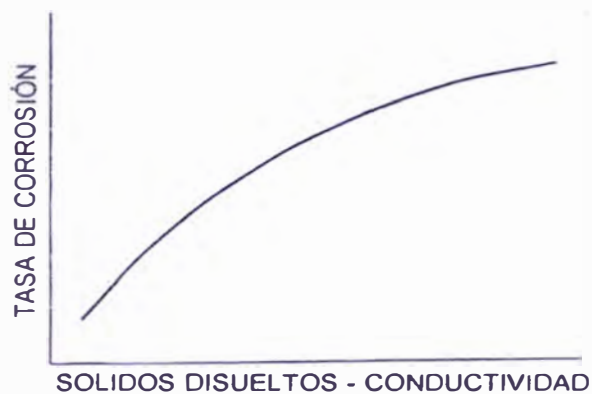


Gráfico 22: Variación de la corrosión en función a los TDS

El uso de cloro también está fuertemente relacionado con la tasa de corrosión. Por lo general, cuando más alta es la dosificación de cloro o hipoclorito de sodio, mayor será la tendencia a la corrosión. Si ese material fuera dosificado en exceso en un sistema de enfriamiento, atacará las aleaciones de cobre del sistema, tales como latón admiralty, liberando iones de cobre en el agua de enfriamiento. Los iones de cobre pueden depositarse sobre las superficies de acero dentro del sistema y llevar a corrosión galvánica.

IV.4.1.3. Control de la Corrosión

Es necesario usar métodos de control de corrosión en sistemas de enfriamiento para mantener la planta operando sin problemas. Esos métodos de control son clasificados en dos: mecánicos y químicos.

Las técnicas mecánicas para minimizar la corrosión en sistemas de enfriamiento generalmente hacen parte integrante del diseño del equipo. Por ejemplo, la metalurgia del intercambiador de calor se selecciona en base al servicio que el intercambiador deberá ejecutar. Se especifican equipos o esquemas de control de temperaturas para permitir que los intercambiadores de calor operen en velocidades de agua apropiadas. La corrosión galvánica es minimizada mediante la selección apropiada de los componentes del sistema o usando ánodos de sacrificios.

Un buen ejemplo de técnica de control de corrosión mecánica es el uso de ánodo de sacrificio. Es relativamente común, en intercambiadores de calor, combinar una hoja de tubo de acero al carbono con tubos de latón admiralty. Eso crea un gran potencial para corrosión galvánica de la hoja de tubo. En este caso, el acero se corroe porque es más anódico que el admiralty. Para ayudar a minimizar este problema, se colocan ánodos de sacrificios de magnesio o cinc en los cabezales de estos intercambiadores.

Como el magnesio y el cinc son más activos que el acero de la hoja de tubo, la corrosión los ataca preferentemente antes que las hojas del tubo. Ellos protegen el acero “sacrificándose” al agua corrosiva.

Las técnicas químicas para inhibición de la corrosión en sistemas de enfriamiento incluyen control de pH, control de ciclos de concentración y la utilización de aditivos químicos especiales, llamados **inhibidores de corrosión**. Es importante mantenerse dentro del rango recomendado de eficiencia de los productos químicos inhibidores de corrosión para controlar la corrosión todo el tiempo en los sistemas de enfriamiento.

Hemos visto que una celda de corrosión tiene dos componentes, un ánodo y un cátodo. Podemos reducir la corrosión interfiriendo con las reacciones químicas en uno o ambos electrodos. Es decir, podemos cerrar la celda de corrosión usando productos químicos llamados inhibidores.

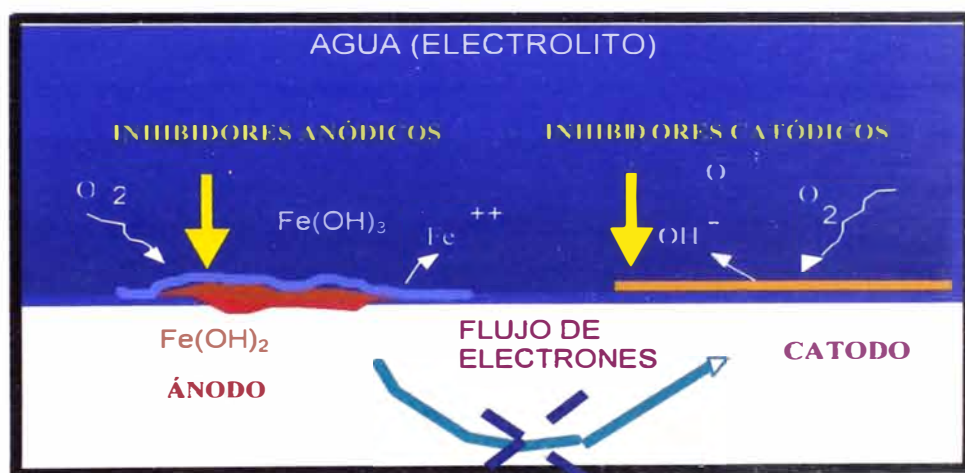


Gráfico 23: Celdas de Corrosión

Por lo general, los inhibidores de corrosión anódicos forman películas de óxido adherentes en las ubicaciones anódicas de las superficies metálicas. Esta película impide la reacción de la corrosión anódica. Los inhibidores catódicos forman películas precipitadas localmente en las áreas catódicas de la superficie metálica. Estas películas son más porosas que las

películas anódicas y no se adhieren tan fuertemente. Son buenas para reducir o impedir que el oxígeno llegue a la superficie metálica. Existen un tercer tipo de inhibidor, llamado de adsorción. Estos compuestos, que producen una o múltiples capas de protección contra la corrosión, típicamente involucran ambas ubicaciones, anódica y catódica. Ellos también evitan que el oxígeno entre en contacto físico con la superficie metálica.

Uno de los inhibidores de corrosión más antiguo y mejores es el cromato. El cromato trabaja rápidamente, es relativamente insensible a la química del agua y realiza un excelente trabajo de control de la corrosión. Desafortunadamente, existen problemas ambientales con el cromato, es tóxico. Por esta razón, muchas naciones industrializadas han aprobado legislaciones prohibiendo o reduciendo el uso de cromato en sistemas de enfriamiento.

El molibdato se usa como inhibidor de corrosión anódico desde hace años. Generalmente se usa en sistemas de enfriamientos cerrados, que pueden sostener altos niveles de molibdato debido a la baja pérdida de agua. Contrariamente al cromato, presenta baja toxicidad, pero es caro. Ahora está siendo usado también en bajas concentraciones en sistemas de recirculación abiertos, operando típicamente en un rango de pH alcalino.

El nitrito produce película anódica y es generalmente usado en sistemas cerrados en altas concentraciones. Es susceptible a biodegradación, ya que los microorganismos consumen el nitrito como alimento.

Altas concentraciones de fosfato funcionan como inhibidor anódico generando un film de óxido de hierro pasivo. Esto evita que el oxígeno llegue a la superficie metálica, lo que impide la corrosión. El uso de fosfatos

en esa forma exige un inhibidor de fosfato de calcio, debido al riesgo de precipitación de calcio en el sistema. Sin embargo, a bajas concentraciones de fosfato actúan como un buen inhibidor cático. El fosfato de calcio es formado de manera controlada en el cátodo, evitando que el oxígeno llegue a la superficie metálica. Eso exige una cierta cantidad de calcio en el agua de reposición, y además debemos tener cuidado con el potencial de deposición del fosfato de calcio. Este método funciona mejor en un rango de pH neutro a alcalino.

Los polifosfatos, que son combinaciones de fosfatos ligados químicamente, son considerados ambos anódicos y cáticos respecto a su actividad de inhibición de corrosión. Actúan efectivamente en pH neutro a alcalino, reconvirtiéndose lentamente en mono(u orto) fosfato con el correr del tiempo y según los agentes oxidantes presentes en el agua de enfriamiento.

Un inhibidor cático muy común es el cinc. Generalmente se utiliza en bajas concentraciones, debido a consideraciones ambientales respecto a su descarga; sin embargo, es sumamente eficiente, especialmente cuando se combina con otros inhibidores.

Existen una serie de compuestos orgánicos, llamados fosfonatos, que son considerados anódicos y cáticos. Normalmente se usan en combinación con otros inhibidores y actúan en pH alcalino.

Existen dos tipos principales de inhibidores de adsorción. El primero es el silicato y el otro tipo está basado en materiales orgánicos denominados azoles.

IV.4.2 Depósitos

IV.4.2.1 Conceptos generales

La acumulación gradual de depósitos en sistemas de agua de enfriamiento afecta directamente a la producción. Los problemas de deposición pueden:

- Reducir la eficiencia de la torre
- Disminuir la transferencia de calor
- Reducir la capacidad de transporte en las tuberías

Generalmente, los depósitos son clasificados como incrustación o ensuciantes (foulants)

Incrustación

La incrustación es una capa de materiales predominantemente inorgánicos, formados mediante la precipitación y subsecuentemente crecimiento del cristal en la superficie que está en contacto con el agua. La precipitación ocurre cuando la solubilidad de los minerales formadores de depósito es sobrepasada, sea en el agua o sobre las superficies. Las sales más comunes formadoras de depósito en las superficies de transferencia de calor presentan solubilidad retrógrada o inversa con la temperatura.

La mayoría de las sales se vuelven más solubles a medida que aumenta la temperatura. La sal común, cloruro de sodio, presenta este tipo de comportamiento: cuando más caliente la solución, mayor será la concentración de sal que se disuelve en ella. Algunas sales presentan solubilidad inversa: a medida que la temperatura aumenta, su solubilidad decrece. Respecto a las sales con solubilidad inversa, el potencial de los problemas de incrustación es mayor en las partes más calientes del sistema de enfriamiento – superficie del

intercambiador de calor – que también son las más críticas para una transferencia de calor eficiente.

El carbonato de calcio, sulfato de calcio, fosfato de calcio y silicato de magnesio son ejemplos de sales que presentan solubilidad inversa. Pueden ser totalmente solubles en agua bruta con baja temperatura del sistema de enfriamiento, pero no son solubles en agua con temperatura más elevada, como en las superficies de transferencia de calor de los intercambiadores, y precipitan sobre esta superficie.



Gráfico 24: Problema crítico de incrustación en un Intercambiador

Las incrustaciones se forman por un proceso de **nucleación**, en distintas etapas. Los cristales iniciales crecen y pueden en realidad proveer más sitios de nucleación, acelerando el proceso de formación de incrustación; siendo las condiciones de las superficies metálicas ideales para la nucleación cristalina. La superficie del metal es “aspera” desde el punto de vista atómico, creando sitios para la nucleación. Además, las velocidades del agua son más bajas cerca de una superficie, lo que evita que la turbulencia rompa los sitios de nucleación. Para complicar aún más el problema, las celdas de corrosión de una superficie

metálica producen áreas localizadas con pH relativamente elevado, incrementando la precipitación de muchas sales de dureza del agua de enfriamiento. Después de formados, los depósitos incrustantes proveen sitios adicionales de nucleación y aceleran el crecimiento cristalino.

El carbonato de calcio es la incrustación más común formada en sistemas de agua de enfriamiento, porque se forma a partir de dos situaciones presentes en casi todas las aguas de reposición: la dureza de calcio y la alcalinidad de bicarbonato. Sin embargo, la química de formación de carbonato de calcio depende de varios factores: dureza de calcio, alcalinidad de bicarbonato, sólidos totales disueltos, pH y temperatura.

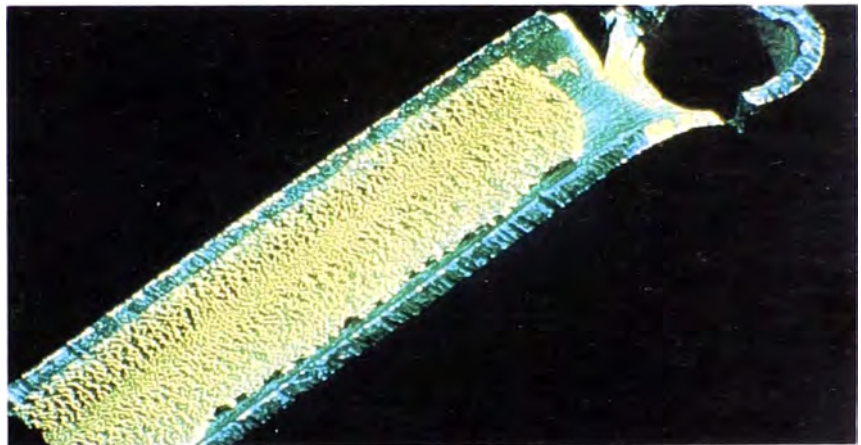


Gráfico 25: Incrustación por sales de carbonato de calcio

Un profesor universitario, W.F. Langelier, estudió la interrelación de todos estos factores. Ver Handbook de Betzdeaborn. Él desarrolló un “índice” o modelo matemático que usamos para predecir la tendencia del carbonato de calcio a precipitar o seguir soluble en sistemas de agua de enfriamiento. Este índice se llama **Índice de Saturación de langelier, LSI**. Cuando es positivo, el carbonato de calcio tiende a depositarse. Si el LSI es negativo, el carbonato de calcio tiende a disolverse o seguir soluble.

Básicamente, el LSI mide la diferencia de pH entre el pH real del agua y el pH en la cual el carbonato de calcio empieza a precipitarse. El pH en el cual el carbonato de calcio empieza a precipitarse es llamado *punto de saturación*. Todos los factores que afectan la incrustación actúan para cambiar el punto de saturación. Ver Apéndice A sobre cálculo del LSI.

Otro depósito común es el fosfato de calcio. Como el carbonato de calcio, él se vuelve menos soluble con el aumento de pH y de la temperatura.

Un elemento que está presente en el agua de alimentación es la sílice. A medida que el agua es concentrada en un sistema de torre de enfriamiento, los niveles de sílice aumentan. Niveles de sílice mayores que 200 ppm con frecuencia llevan a incrustaciones por sílice. Contrariamente a la mayoría de los otros incrustantes, la sílice presenta solubilidad normal, es decir, la solubilidad aumenta con la temperatura. Por tanto, si ocurriera incrustación por sílice, generalmente ella se deposita en las partes más frías del sistema de enfriamiento. A veces observamos incrustación por sílice en el relleno de la torre y líneas de transferencia.

Calcio y magnesio pueden reaccionar con sílice formando incrustación muy dura de silicato de magnesio/calcio. Estos compuestos presentan solubilidad inversa y se depositan en las superficies de los intercambiadores. Los depósitos formados con estos incrustantes son sumamente fuertes, pequeñas cantidades pueden reducir drásticamente la transferencia de calor.

El hierro de una fuente(pozo) de agua con frecuencia presenta baja solubilidad en sistemas de enfriamiento, llevando a la formación de depósitos de hierro en todo el sistema de enfriamiento. Pueden ser incrustaciones duras, densas, muy adherentes, o depósitos flojos, sumamente porosos.



Gráfico 26: Muestra Incrustación por diferentes sales

Ensuciamiento

Ensuciamiento es la acumulación de materiales suspendidos en el agua, en oposición a materiales disueltos en el agua que generalmente forman incrustaciones. Los materiales suspendidos incluyen lodo, sedimentos, compuestos orgánicos, aceites, polvo y suciedad, productos de corrosión, lodos biológicos y desechos en general.

Los sólidos suspendidos entran en un sistema de enfriamiento de distintas formas. Si el agua de reposición contiene sólidos suspendidos, estos se concentran durante la operación de la torre. Según el aire pasa por la torre, es limpiado por el agua de la torre. Es decir, cualquier partícula o polvo arrastrado por el aire es limpiada por el agua. Además, debido a su calor y carga de nutrientes, el agua de enfriamiento es un medio formidable para el crecimiento de los microorganismos, si éstos no son controlados generan ensuciamiento biológico (biofouling).

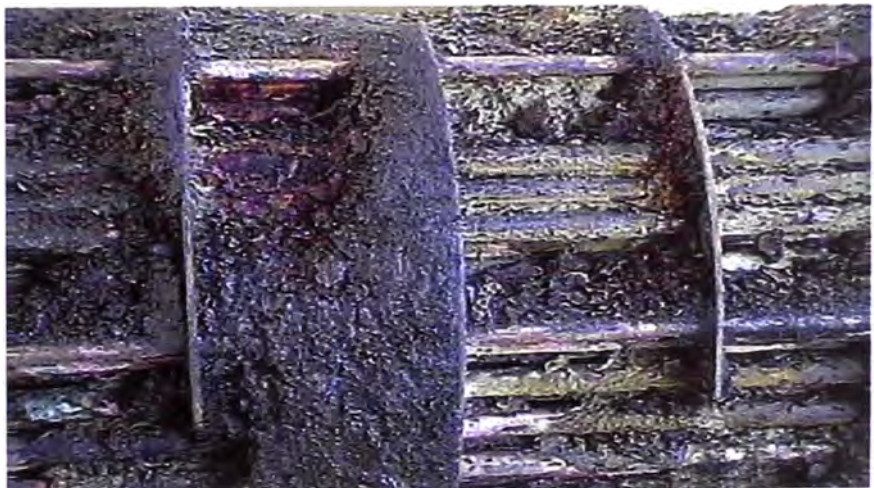


Gráfico 27: Muestras de lodos en un intercambiador

IV.4.2.2 Factores que afectan los depósitos.

La formación de depósitos es fuertemente influenciada por diversos factores. Los factores claves son:

- composición del agua
- pH
- temperatura del agua y el intercambiador
- velocidad del agua
- tiempo de residencia
- metalurgia del sistema

Estos factores están interrelacionados. La deposición más severa, normalmente ocurre en el equipo de proceso que opera en temperaturas elevadas y/o con agua de baja velocidad. Para torres de enfriamiento con un relleno de film sumamente eficiente, la acumulación de depósito es un tema de preocupación continua.

IV.4.2.3 Control de Depósitos

Tal como existen métodos mecánicos y químicos para controlar la corrosión, también existen dichos métodos para controlar la depósitos.

En términos de métodos de control mecánico, la mejora de la calidad del agua de reposición de la torre tiene importancia primaria. Ablandamiento con cal/soda, ablandamiento con zeolita, intercambio iónico y ósmosis inversa son opciones; sin embargo es necesario un buen análisis costo/beneficio para elegir el mejor tratamiento.

Otra alternativa es permitir que las impurezas precipiten como lodo removible en lugar de depósito duro. Los clarificadores o separadores de sólidos se diseñan para remover estos lodos. Muchos sistemas usan filtros laterales del agua de la torre para remover, o por lo

menos disminuir, los sólidos suspendidos o productos de corrosión, reduciendo substancialmente el potencial de deposición.

Los ajustes del proceso proveen otro medio de controlar los depósitos. Estos ajustes incluyen el aumento de la purga, reducción del pH, aumento de la velocidad del agua o reducción de las temperaturas. Con frecuencia se agrega ácido a los sistemas de enfriamiento para reducir el pH, pero muchos clientes no quieren usar ácido en sus plantas.

Aún con buenos procesos de ajuste, es necesario un programa químico de control de depósitos para la operación óptima del sistema. Existen tres tipos de control químico.

- Inhibidores
- Dispersantes
- Surfactantes

Los inhibidores retardan el crecimiento del cristal de las sales formadoras de incrustación, adhiriéndose a las superficies de los cristales. Ellos alteran la estructura del cristal a medida que se forma, durante la etapa de nucleación. Esto hace que el cristal inicial sea frágil, quebrándose en unidades menores o volviendo a disolverse. El uso de un inhibidor permite concentraciones más altas de sales en el sistema, sin el peligro de deposición en las superficies calientes de un intercambiador.

Los dispersantes controlan el tamaño de la partícula interfiriendo con la atracción partícula-partícula. Normalmente, las partículas son atraídas una a la otra y se combinan para producir partículas mayores,

eventualmente llevando a la deposición. El uso de dispersantes interfiere con este proceso. Los dispersantes se anexan a las partículas, y les dan una carga negativa más grande. Las cargas negativas de las partículas se repelen y las partículas no pueden crecer hasta un tamaño peligroso. Si logramos mantener la dispersión de las partículas pequeñas, ellas serán removidas del sistema de enfriamiento por la purga.

Los surfactantes también son útiles en un programa de control de depósito. Estos productos químicos actúan como el jabón, reaccionando con las grasas y aceites, dispersándolos. Los surfactantes tienen una estructura interesante: parte de la molécula tiene una extremidad moderadamente cargada y prefiere disolverse en agua, tal como otras especies cargadas. La otra parte de la molécula tiene una extremidad no cargada a la cual no le atrae mucho el agua. Esa extremidad de la molécula prefiere aceites y grasas, que tampoco son sustancias químicas muy cargadas. Cuando las moléculas de los surfactantes reaccionan con grasa o aceite, la extremidad no cargada se alinea y circunda el glóbulo de aceite, dejando la extremidad cargada – y el aceite – libre para dispersarse en el agua. La palabra surfactante es una abreviación de agente activo superficial.

Los biodispersantes forman una clase especial de surfactantes usados en programas de control microbiológico

IV.4.3 Ensuciamiento Microbiológico

IV.4.3.1 Conceptos generales

Los sistemas de enfriamiento proveen condiciones que ayudan el crecimiento de vida microscópica, predominantemente algas, hongos y bacterias.

Existen dos clases principales de microorganismos

- Planctónicos - organismos que nadan libremente, viven en el agua
- Sésiles - que prefieren vivir adheridos a una superficie.

Los microorganismos se adhieren a superficies mojadas, crecen en ellas y, después de algún tiempo, forman comunidades mayores. Esas comunidades mayores, llamadas biofilmes, consisten de células microbianas y material oculto por las células como una capa de protección. Esta capa consiste de polímeros biológicos complejos. Estos materiales son gelatinosos y pegajosos - lodosos.

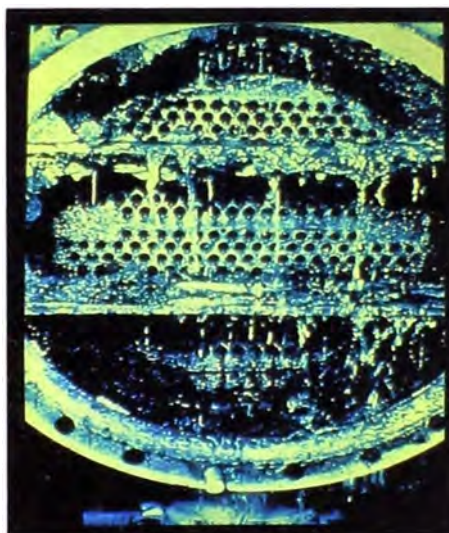


Gráfico 28: Ensuciamiento microbiológico de un intercambiador

Su crecimiento no es controlado, los biofilmes interfieren con el desempeño del equipo: la contaminación biológica puede reducir, bloquear el flujo de agua, reducir la transferencia de calor y aumentar la tasa de corrosión. Algunos organismos biofílmicos atacan la madera, lo que debilita los miembros estructurales de torres de enfriamiento de madera. Además, sistemas de enfriamiento sucios aumentan el riesgo de enfermedades llevadas por el aire debido a la entrada de aire a la torre de enfriamiento cargado con microorganismos.

En sistemas de circulación abierto, los microorganismos son introducidos en la torre primariamente como consecuencia del lavado de la tremenda cantidad de aire que pasa a través de la torre. También entran en los sistemas abiertos o cerrados a través del agua de reposición contaminada o por fugas de corrientes del proceso.

Los microorganismos también se desarrollan en los sistemas de enfriamiento porque estos proveen condiciones óptimas para el crecimiento:

- Agua
- Nutrientes para el crecimiento
- Temperatura ideal
- Rango preferido de pH.

Vamos ahora a examinar las tres clases más importantes de microorganismos que invaden los sistemas de enfriamiento.

IV.4.3.2 Algas

Esta clase de organismos tiene una forma de vida vegetal sencilla, caracterizada por la **fotosíntesis**, las algas usan la luz solar para proveer energía y para sintetizar mucho de lo que necesitan para crecer. Usando la luz, toman CO_2 del aire y reaccionan con agua para producir azúcares y otros compuestos. Usan clorofila, un compuesto amarillo verdoso para ayudar esa química. Como necesitan de luz solar para crecer, generalmente son encontradas en la rejillas de ventilación, soportes de la torre y paredes de la misma. La clorofila les da a las colonias su color característico.

Las algas pueden obstruir boquillas, alterar el equilibrio del agua de la torre, tapar los rellenos y reducir la eficiencia de la torre. Como convierten CO_2 a compuestos orgánicos, que ellas y otros organismos usan, las algas son frecuentemente llamadas colonizadores pioneros de un sistema de enfriamiento. Es decir, ellas preparan el camino para el crecimiento de otros organismos que vienen después.

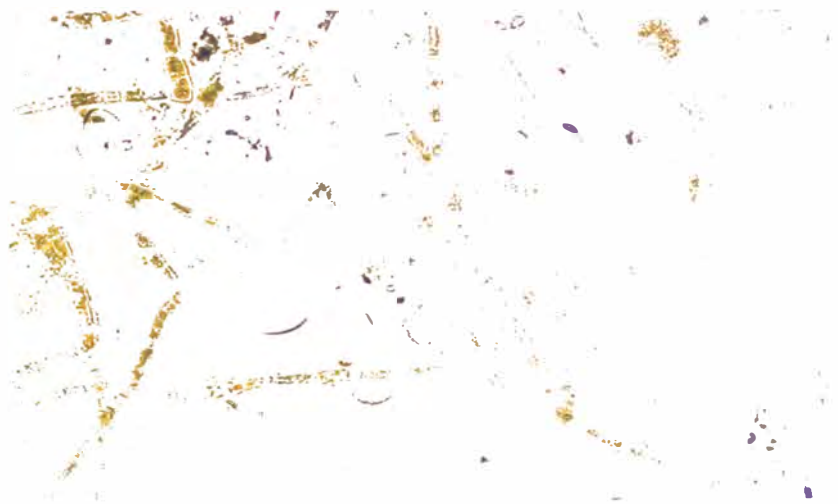


Gráfico 29: Muestra de un tipo de algas.

IV.4.3.3 Hongos

La mejor descripción de **hongos** es que son plantas sencillas como las algas, pero no tienen clorofila. Su incapacidad de sintetizar todos los alimentos que necesitan, los obliga a vivir de subproductos de otras criaturas, u obtener su nutrición de materias que no están vivos. Los hongos incluyen los mohos y las levaduras. Exigen menos humedad y sobreviven en pH más bajo que las algas o bacterias.

La clase más importante de hongos en sistemas de agua de enfriamiento son los hongos que destruyen la madera. Estos incluyen especies que producen putrefacción, blanca y marrón. Las especies de moho y levadura que producen putrefacción blanca atacan y comen la celulosa que constituyen las fibras de la madera. El marrón ataca la lignina, que une las fibras de madera. Con frecuencia la putrefacción es interna, debilitando la madera sin que aparezcan señales externas de lo que pasa. Otras especies no atacan directamente a la madera, sino que agregan masa de lodo en las superficies de la madera.



Gráfico 30: Hongos (400X)

IV.4.3.4 Bacterias

Una de las clases más importantes de microorganismos vivos en la tierra son las **bacterias**. Contrariamente a las algas y a los hongos, las bacterias tienden a crecer en todo el sistema de enfriamiento. La inmensa variedad de tipo bacterianos permite que ellos sobrevivan en un amplio rango de condiciones ambientales y fuentes de nutrientes. La mayoría de las bacterias exige oxígeno; estas se llaman *aeróbicas*. Algunas viven en ausencia de oxígeno; se llaman *anaeróbicas*. Este grupo incluye “bacterias reductoras de sulfato”. Estos organismos, por no necesitar de oxígeno para crecer, con frecuencia existen en lodos o bajo depósitos. Ellas liberan sulfuro de hidrogeno, H_2S , que huele a “huevo podrido”. El H_2S es muy corrosivo; consecuentemente, estas bacterias pueden ser sumamente dañinas, causando corrosión bajo depósitos.

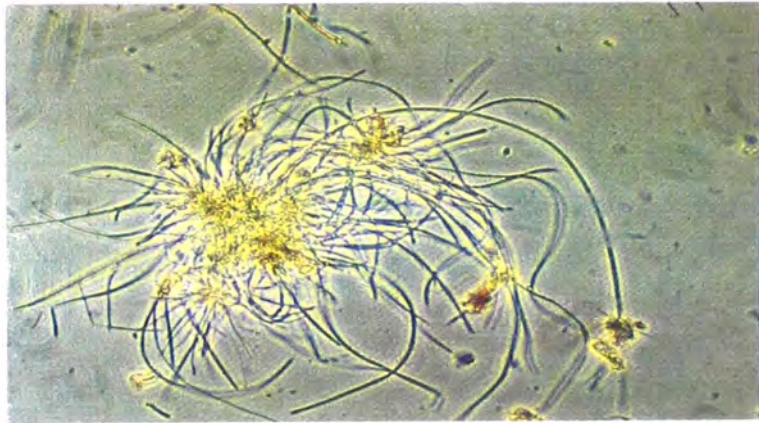


Gráfico 31: Un tipo de Bacteria tipo sulfato reductora

IV.4.3.5 Control Microbiológico

Existen tres tipos generales de productos usados para controlar el ensuciamiento microbiológico:

- Biocidas : (1) biocidas oxidantes
(2) biocidas no oxidantes
- Surfactantes: (3) biodispersantes

Biocidas Oxidantes

Los biocidas oxidantes son productos químicos muy reactivos que, en realidad, queman todos los compuestos que el oxidante ataca. Los oxidantes buscan típicamente estructuras que contienen carbono complejo. Ellos abren las paredes celulares. Destruyen los materiales de soporte de vida, como proteínas, enzimas y ADN. Como no son selectivos, los oxidantes son eficaces contra un amplio rango de organismos.

Los biocidas oxidantes incluyen gas cloro, hipoclorito de sodio, compuestos bromo-cloro y ozono.

Históricamente, el cloro ha sido el principal biocida oxidante usado para el control del crecimiento microbiano en los sistemas de enfriamiento. Siendo uno de los químicos de mejor costo/beneficio. Un residual de cloro libre entre 0.1 y 0.5 ppm es adecuado para controlar un volumen de organismos en el agua si el residual puede mantenerse por un período de tiempo suficiente.

La cloración continua de un sistema de enfriamiento ofrece a menudo el mejor control del limo (slime) microbiano. Sin embargo, es económicamente

difícil lograr un continuo residual libre de cloro, sobre todo en sistemas donde existe altas demandas.

En sistemas de un solo paso, el cloro residual se recomienda mantenerlo en 0.3 a 0.8 ppm durante 1 a 2 horas, por período de tratamiento. El ratio de contaminación determinará la frecuencia requerida de tratamiento.

En sistemas de enfriamiento de circulación abierta puede ser tratado con cloración continua o intermitente, siendo recomendable llegar a un residual de cloro libre entre 0.1 a 0.5 ppm.

Una alternativa al cloro como biocida oxidante y económicamente viable es el hipoclorito de sodio. Cuando el hipoclorito de sodio se disocia en agua, se da la siguiente ionización:



El ingrediente activo tal como en el gas cloro, es el ácido hipocloroso. La reacción del hipoclorito incrementa los iones hidroxilos, formando hidróxido de sodio; El NaOH formado, no incrementa el pH del sistema por la presencia del HOCl; sin embargo, cuando se usa cloro gas, el pH del agua de enfriamiento puede parecer que sube o requerir realmente más ácido para controlar el pH.

Biocidas no Oxidantes

Los biocidas no oxidantes son mucho más específicos por la manera como atacan los microorganismos. En lugar de la química de quemar del cloro, los no oxidantes interactúan con la membrana que circunda un organismo o interfieren con su actividad metabólica.

La membrana celular es crítica para la supervivencia del organismo. La membrana regula los materiales que entran y salen de la célula. Algunos biocidas dañan selectivamente la membrana celular. Con una membrana dañada, la célula pierde control sobre su ambiente interno y muere.

Otros biocidas entran en la célula y envenenan una actividad bioquímica específica dentro de ella. Existen muchas reacciones bioquímicas que ocurren en cada célula: producción de energía, movimiento de nutrientes interno de la célula, uso de nutrientes para fabricar nuevo material celular y división celular. El biocida interfiere con muchas de estas reacciones o daña una reacción crítica y la célula muere.

Los biocidas no oxidantes más comunes son: Dodecilguanidina, Isotiazolina, Glutaraldehído, Amonio Cuaternarios, Tiocianato, Bromo-nitropropano-diol, Dibromo-Nitrilopropionamida, etc.

Los productos formulados tiene cierta concentración de uno o mezcla de varios; cada compañía muestra su tecnología en este tema, diseñando productos más eficientes para el control del crecimiento de microorganismos en agua de enfriamiento.

Biodispersantes

Los biodispersantes son surfactantes especiales que rompen la capa protectora de lodo de biofilmes y ayudan al biocida a llegar a los organismos, no son tóxicos para los microorganismos; sin embargo, es una manera astuta de mejorar el desempeño del biocida a costo relativamente bajo, con mínimo impacto ambiental.

Los biodispersantes se pueden agregar indiferentemente al tipo de biocida que se use. Por experiencia se recomienda agregar unas horas antes de adicionar el biocida, con el fin de remover la materia orgánica.

IV.5 Descripción del Programa de Prevención Química

IV.5.1 Aspectos Técnicos y Económicos

Los Tratamientos de agua relacionados con sistemas de enfriamiento, están dirigidos a importantes metas de la planta:

- Aumentar la vida del equipo.
- Minimizar los paros y pérdidas de producción.
- Minimizar los costos de mantenimiento.
- Evitar desequilibrios del sistema
- Maximizar la transferencia de calor
- Eficiencia del uso de la energía

Para alcanzar estas metas tenemos que usar cada oportunidad de reciclar, minimizar el efluente, cumplir las regulaciones ambientales, y proveer un ambiente de trabajo seguro para todo el personal de la planta. Y que el costo de tratamiento sea económico.

Consideraciones Técnicas

La selección , construcción e implementación de un programa de tratamiento del agua de enfriamiento reúne los conceptos tratados anteriormente.

Es importante comprender la interrelación entre corrosión, deposición y contaminación microbiológica.

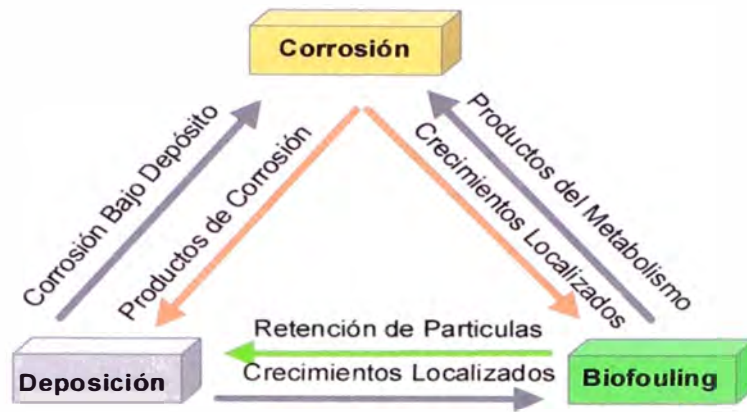


Gráfico 32: Relación de los 3 fenómenos críticos

El diagrama de arriba, indica que la corrosión puede causar problemas microbiológicos al proveer sitios para el crecimiento, y la corrosión puede ser causada por problemas microbiológicos resultantes de los productos desechados por los organismos. De manera semejante, la deposición puede causar corrosión bajo depósitos, y la deposición puede ser causada por la acumulación de subproductos de corrosión. Deposición y contaminación biológica están interrelacionados de modo semejante.

IV.5.2. Tratamiento Químico

Para prevenir los problemas que ocasionan la corrosión, deposición y/o la contaminación microbiológica, existen en el mercado variados productos químicos, con nombres comerciales y genéricos, que van direccionados a minimizar los problemas que generan cada uno o en conjunto, los tres elementos en discusión. Se puede apreciar en el gráfico 33 la descripción de las funciones que cumplen los productos químicos.



Gráfico 33: Tratamiento sugerido

IV.5.3. Sistemas de Alimentación de Químicos

Aspectos Generales de Dosificación

Además de mantener los niveles exigidos de productos químicos de tratamiento, también es importante saber dónde se aplica el tratamiento en el sistema.

Es importante dosificar los programas de tratamiento químico en un área sumamente agitada; esto estimula una buena mezcla. Aunque la dosis sea correcta, si no es dispersado a través del sistema de circulación, no sirve.

En sistemas de enfriamiento, el área preferida para alimentar los productos químicos de tratamiento es la succión de la bomba de recirculación. El paso a través de grandes bombas de circulación asegura dilución apropiada de los activos concentrados.

Tipos de Sistemas de Dosificación y Control

Un método de dosificar el tratamiento químico es mediante una bomba. Pequeñas bombas de dosificación química se encuentran en todas las plantas industriales. Siendo una de las más aceptables esta forma de dosificación, no debemos olvidar que tiene desventajas por analizar: (a) el arreglo de la bomba está basado en condiciones presumidamente constantes del sistema – lo que realmente no sucede. (b) Cada uno supone que la producción y/o la presión de descarga de una bomba es constante. (c) También se presentan fugas.

Una variante de la dosificación por balde y la dosificación por bomba es la alimentación por shock. Este método intermitente, es usado para desarrollar rápidamente una concentración máxima de tratamiento. Los dispersantes y biocidas son algunas veces alimentados a sistemas de circulación de esa forma. La dosificación de shock automática usa una bomba de dosificación química y un controlador que acciona la bomba.

Durante años se hicieron muchos intentos para direccionar el desempeño de un sistema de dosificación hacia un parámetro importante, cambiante, del sistema. Uno de esos, se llama, sistema de alimentación Medidor/Contador/Cronómetro (MCT).

El MCT está basado normalmente en una concentración recomendada de tratamiento. El sistema busca tener ese nivel rastreando los productos químicos perdidos, o sea en la purga. El caudal de reposición es medido y envía una señal pulsada a un contador. El contador acumula un determinado número de pulsos y después activa la dosificación química en un tiempo pre-establecido, ver esquema:

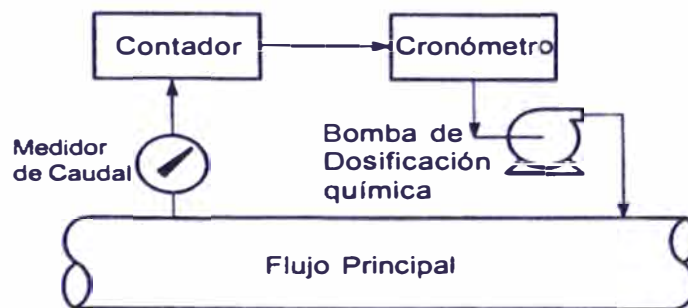


Gráfico 34: Esquema de dosificación

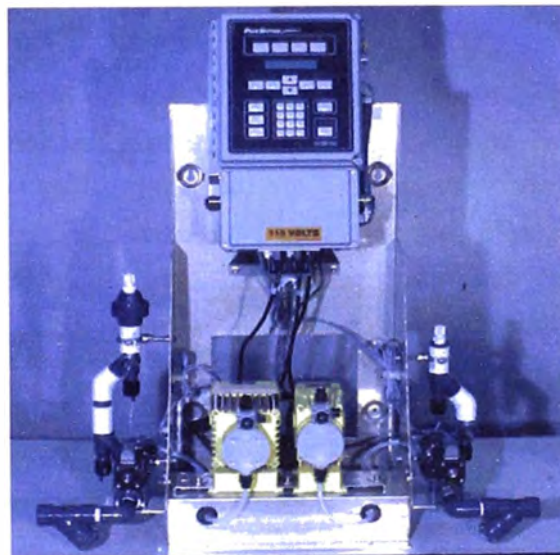


Gráfico 35: Equipo de dosificación automático

IV.6. Proceso De Monitoreo de un Programa de Tratamiento

IV.6.1. Muestreo

Debemos mencionar la importancia de obtener una muestra buena y representativa del agua. Puede que un ensayo sea el mejor que existe, pero si la muestra de agua no es buena, los resultados pueden ser engañosos.

Una muestra debe reflejar con precisión la masa de agua de donde fue recolectada. Muchas plantas poseen líneas de flujo continuo de muestras, es el mejor método posible de muestreo de agua. Las muestras de flujo continuo descargadas constantemente por la línea de muestreo reflejan rápidamente cambios importantes en la química de la masa de agua.

Las líneas de muestreo que no son usadas frecuentemente son problemáticas. No recolectar una muestra tan pronto como sea abierta la línea de muestreo. Para ello hay que descargar la línea por varios minutos y después se toma la muestra. Al empezar a tomar la muestra tener cuidado de no tocar la línea de muestreo o la válvula de control.

En el tratamiento de agua de enfriamiento muy pocos análisis se hacen inmediatamente después de tomar la muestra. La mayoría de los sistemas y químicas de tratamiento permanecen estables durante algún tiempo, especialmente si el envase en donde está la muestra está cerrado. Los procedimientos de ensayo detallan las exigencias de tiempo.

IV.6.2. Análisis Químico

Existen muchos análisis químicos realizados en el agua de reposición entrante y en el agua de recirculación del sistema de enfriamiento. Estos incluyen Dureza total, Conductividad, pH, Calcio, Cloruro, Sílice, Alcalinidad, entre otros. Estos ensayos nos alertan de cualquier problema que podría estar desarrollándose y nos ayudará a establecer sistemas de equilibrio del agua. Por ejemplo, estos ensayos le informan cuál es el número de ciclos de concentración, basados en distintos coeficientes, que debe ser más o menos coherentes. A veces aparece una diferencia: los ciclos basados en sílice pueden ser substancialmente más bajos que los ciclos basados en TDS, conductividad u otros parámetros. Eso puede indicar que estamos “perdiendo” sílice en el sistema, un aviso de que puede estar ocurriendo deposición de sílice.

Los programas de tratamiento químico están diseñados para manejar un rango definido de productos químicos en el sistema de enfriamiento y los programas reaccionan muy bien a los cambios dentro de ese rango. Sin embargo, necesitamos verificar el agua de reposición para evitar que el programa sea invadido por agentes químicos fuera de rango de capacidad. Además de la química general del agua, algunos programas de tratamiento involucran análisis específicos: fosfato, cinc, molibdato y azol. Algunos necesitan pruebas especiales: hierro, polifosfato y cobre.



Gráfico 36: Equipos para análisis físico-químicos

IV.6.3. Inspección de los Equipos de Enfriamiento

Parte de una buena operación mecánica es la inspección periódica de la torre de enfriamiento. Algunos puntos donde es importante inspeccionar y buscar cambio son:

- Agua de circulación, colector: Cambios de color, turbidez, espumas, aceite, aumento de suciedad, condiciones de las mallas, acumulación de lodos.
- Caja de Distribución: el flujo a través de la caja no es uniforme, verificar si hay lodo y algas.
- Respiradores de entrada de aire: Incrustaciones de sales.
- Tope de la unidad hoyos de distribución: Boquillas de regadores tapadas.
- Madera de la torre: cambios en la textura o resistencia.
- Eliminadores de gotas y área de relleno: Daño físico, formación de incrustaciones.
- Ventiladores, motores y bombas: amperaje, vibración, ruido, fugas.

IV.6.4. Monitoreo de la Corrosión

Una de las pruebas más antiguas del tratamiento de una torre de enfriamiento es el uso del **cupón de corrosión**. Esto es un pequeño pedazo de metal, pesado antes del uso y con metalurgia semejante a la metalurgia del sistema. Se expone el cupón al agua de enfriamiento durante semanas o meses seguidos.

Con frecuencia son arreglados varios cupones en un conjunto llamado **rack de prueba**. También pueden insertarse cupones individuales en una línea de agua de enfriamiento mediante un dispositivo retráctil.

Se retira el cupón, luego del periodo de evaluación, para determinar la pérdida de peso y calcular la tasa media de corrosión. Los detalles del análisis se muestra en el anexo B.



Gráfico 37: Cupones de corrosión

A veces se puede obtener lecturas de corrosión instantáneas mediante un medidor de tasa de corrosión. En el mercado existen varios tipos y modelos. Estos medidores exigen calibración frecuente y ocasionalmente presentan resultados inexactos en determinadas aguas de enfriamiento; sin embargo, son útiles bajo determinadas condiciones.



Gráfico 38: Equipo para medición de la tasa de corrosión

IV.6.5. Medición de la Depositación

Para determinar la tasa de deposición, también existen cupones específicos para uso en los sistemas de enfriamiento. Estos cupones contienen numerosos hoyos y perforaciones que proveen superficies representativas para acumulación de depósitos. La metodología de cálculo para determinar la tasa de deposición se presenta en el Anexo B.

También existen modelos de condensadores e intercambiadores de calor piloto. El modelo de condensador simula las condiciones operacionales de la superficie de un condensador usando el agua de enfriamiento de la planta. Los tubos del condensador son calentados por vapor. Las temperaturas de carcaza y descarga de agua son medidas para monitorear la deposición. En la prueba con el sistema de intercambio de calor, las cargas de calor y los flujos de agua de enfriamiento son reproducidos. Después de una operación de prueba, los tubos son removidos, seccionados y examinados para chequear corrosión y deposición.


Cupón	Material	Equipo	Instalado	Retirado	Tiempo de Exposición
247	Fe Ac	DEST I T.R	28.10.97	4.12.97	36 días
					
Peso Inicial (gr.)	Peso con depósito (gr.)	Peso Final (gr.)	Tasa de Deposición (mpd)	Tasa de Corrosión (mpy)	
11.1135					

Gráfico 39: Cupón para determinar tasa de deposición

IV.6.6. Monitoreo Microbiológico

Existen dos divisiones principales entre los microorganismos existentes en los sistemas de enfriamiento. Algunos de los microorganismos viven en la masa de agua, **planctónicos**. Otros organismos prefieren vivir adheridos a la superficie, **sésiles**.

Monitoreo Planctónico

Los organismos planctónicos son medidos mediante conteo de plaquetas. El término proviene de los métodos antiguos, en que los organismos crecían en gel de nutriente agar en vasijas de vidrio redondas llamadas “plaquetas”. Una muestra de agua de enfriamiento es dispersada sobre el gel nutriente, permitiéndose su incubación. Cada uno de los organismos, invisible individualmente en la muestra original, crece en el gel y forma una “colonia” visible, que es contada mediante un dispositivo óptico, o por observación directa. Conociendo el tamaño de la muestra original, se calcula el número de unidades formadoras de colonia (UFC) por mililitro (ml). A veces la muestra original es diluida muchas veces, para reducir el número de colonias producidas y facilitar el conteo.

El método de conteo de plaqueta es laborioso pero muy exacto y útil. El gel nutriente puede ser distinto para identificar distintos tipos de organismos. Así las exóticas bacterias anaeróbicas reductoras de sulfato tiene su receta especial para su cultivo. La técnica también es muy útil para evaluar cuál es el biocida necesario para controlar el crecimiento e identificar la dosis más eficiente respecto a otro.

Los métodos modernos perfeccionaron el método de plaqueta de agar. La compañía 3M produce un aparato de prueba descartable llamado Petrifilm. Otros suministradores también

proveen aparatos combinado muestreo/incubación, que han simplificado el monitoreo biológico.

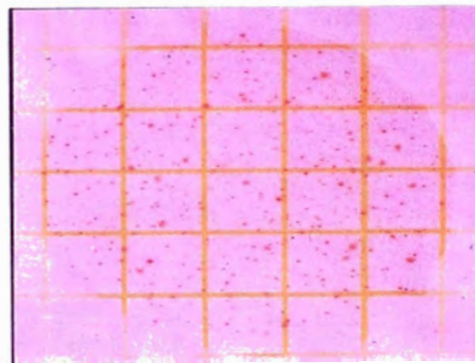
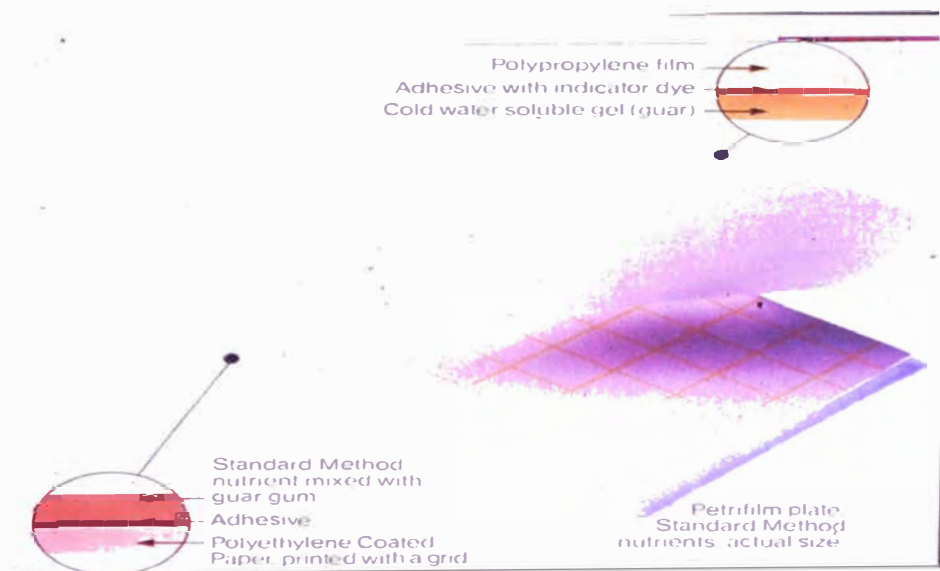


Gráfico 40: Petrifilm

Otra herramienta de monitoreo son los marcadores Bioquímicos, a través del ATP (Trifosfato de Adenosina), portadores de energía biológica producidas por células vivas, es proporcional a la actividad celular y al número de células; disminuye cuando la célula muere. Usado para determinar el contenido microbiano líquidos (bacterias, algas y hongos). Fácil de ejecutar “on site” usando BioScan.

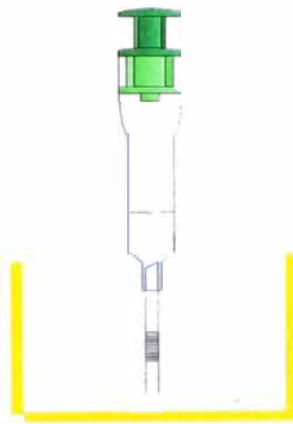


Gráfico 41: Pluma de Muestreo - BioScan



Gráfico 42: Equipo BioScan

Monitoreo Sésil

Existen cupones especiales que pueden ser insertados en sistemas de enfriamiento, específicamente para coleccionar organismos sésiles. Los cupones se hacen de malla metálica. El área de la superficie alta de los cupones de malla proveen buen medio para crecimiento de las especies.

Un dispositivo llamado “Biofilm Fouling Monitor” se usa también para cuantificar el número de organismos sésiles. El monitor insertado en una corriente derivada de agua de enfriamiento. Los organismos empiezan a crecer sobre las superficies de vidrio o perlas de metal dentro del monitor. Al final de la prueba, las perlas son removidas y colocadas en un baño sónico. La agitación sónica saca los organismos de las superficies de las perlas y ellos quedan suspendidos en el agua. Se pone el agua en plaquetas y se analiza de acuerdo a la técnica de los organismos planctónicos.

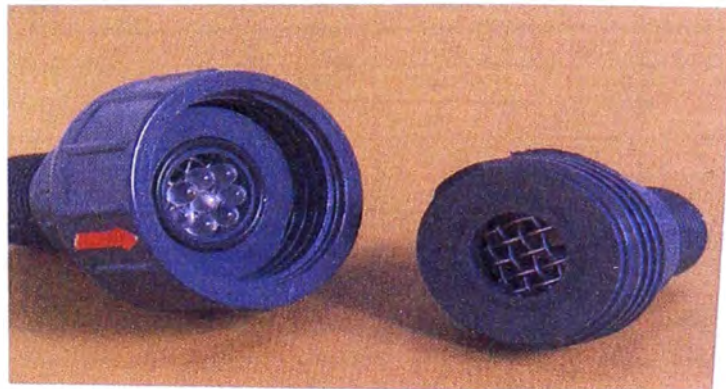


Gráfico 43: Monitor para Biofilm

CAPITULO V

DESARROLLO DE LOS PROGRAMA DE TRATAMIENTO

V.1. Caso Histórico

Por la confidencialidad que existe entre nuestra empresa y nuestros clientes no se mencionará el nombre real del cliente en estudio. En su proceso tiene que refrigerar gran parte de sus equipos, principalmente una serie de intercambiadores. Para ello tiene un sistema de agua enfriamiento, comprendida por una torre de enfriamiento, un sistema de ablandamiento para el agua de reposición y un filtro lateral.

V.1.1. Datos Operacionales

Tipo de Torre de Enfriamiento: Tiro inducido

Caudal de recirculación (Qr): 216 m³

Temperatura del agua fria (Tf): 26 °C

Temperatura de agua Caliente (Tc): 33 °C

Volumen estático del sistema (Vs): 140 m³

Agua de reposición: blanda

<i>ANALISIS</i>	<i>05/09/99</i>	<i>19/09/99</i>	<i>17/10/99</i>	
<i>pH (ad.)</i>	<i>7.86</i>	<i>7.94</i>	<i>7.64</i>	
<i>ALC. TOTAL, ppm CaCO3</i>	<i>80</i>	<i>80</i>	<i>80</i>	
<i>CLORUROS, ppm. Cl</i>	<i>3200</i>	<i>2911</i>	<i>3195</i>	
<i>FOSFATOS, ppm. PO4</i>				
<i>SULFATO, ppm SO4</i>	<i>133</i>	<i>137</i>	<i>136</i>	
<i>S.T.D. ppm. CaCO3</i>	<i>4480</i>	<i>4490</i>	<i>5110</i>	
<i>DUREZA TOTAL, ppm CaCO3</i>	<i>46</i>	<i>68</i>	<i>60</i>	
<i>DUREZA CALCICA, ppm CaCO3</i>	<i>38.1</i>	<i>55.7</i>	<i>49</i>	
<i>ZINC TOTAL, ppm Zn++</i>				
<i>HIERRO SOLUBLE, ppm Fe++</i>	<i>0.02</i>	<i>0.01</i>	<i>0</i>	
<i>HIERRO TOTAL, Ppm Fe++</i>	<i>0.11</i>	<i>0.10</i>	<i>0.01</i>	
<i>SILICE, ppm SiO2</i>	<i>35.9</i>	<i>36.1</i>	<i>36.5</i>	
<i>CONDUCTIVIDAD, Mmhos.</i>	<i>6720</i>	<i>7440</i>	<i>7665</i>	
<i>CICLOS DE CONCENTRACION</i>	<i>3.2</i>	<i>3.1</i>	<i>2.7</i>	
<i>AT (°C)</i>	<i>7.1</i>	<i>7.0</i>	<i>7.0</i>	
<i>Make - Up (m3/hr.)</i>				

Gráfico 44: Análisis de Agua

V.1.2. Cálculos

Con los datos de operación calculamos:

Masa de agua de evaporada (E)

Arrastre de agua (A)

Volumen de agua de reposición (MU)

Volumen de agua de purga (BDP):

Volumen de agua de las pérdidas líquidas (PI):

Ciclos de concentración (CC)

Los cálculos podemos hacerlo usando las formulas descritas anteriormente en la parte teórica o usando algún programa diseñado para estos propósitos. En nuestro caso usamos el programa diseñado por nuestra Compañía.

Enter values into the shaded boxes. Enter Customer Name, Location and Account Number Over Label

BETZ WATER MANAGEMENT GROUP														
TOWER WATER CYCLING ANALYSIS										FG S.A.		VOL		
(VERSION 1.0 m)														
90 DEG C HOT SKIN					48.9 DEG C BULK					Lurin - Perú				
0.8 M-ALK FACTOR										ACC # 00013				
										Cooling Description				
										18-Apr				
										RR		615 (m3/hr)		
										D T		7.0 (deg C)		
										EVAP		7.7 (m3/hr)		
										F		1.00		
CYCLES	pH	M-ALK	Ca	Mg	SiO2	COND	Cl	SO4	LSI	MgSi	CMSi	RT75	B.D	M.U.
												(day)	(m3/hr)	(m3/hr)
MAKEUP	7.94	80	56	12	37	5110	3200	137	0.56					
1.5	7.71	96	84	18	55	7665	4800	206	0.56	ok	ok	0.52	15.5	23.2
2.0	7.94	128	112	24	73	10220	6400	274	1.02	ok	ok	1.04	7.7	15.5
2.5	8.11	160	140	30	91	12775	8000	343	1.37	ok	ok	1.57	5.2	12.9
3.0	8.26	192	168	36	110	15330	9600	411	1.67	ok	ok	2.09	3.9	11.6
3.5	8.38	224	196	42	128	17885	11200	480	1.91	ok	ok	2.61	3.1	10.8
4.0	8.49	256	224	48	146	20440	12800	548	2.12	ok	ok	3.13	2.6	10.3
4.5	8.58	288	252	54	164	22995	14400	617	2.31	ok	ok	3.65	2.2	10.0
5.0	8.66	320	280	60	183	25550	16000	685	2.48	ok	ok	4.17	1.9	9.7
5.5	8.74	352	308	66	*****	28105	17600	754	2.63	ok	ok	4.70	1.7	9.5
6.0	8.81	384	336	72	*****	30660	19200	822	2.77	ok	*****	5.22	1.5	9.3
6.5	8.87	416	364	78	*****	33215	20800	891	2.90	*****	*****	5.74	1.4	9.2
7.0	8.93	448	392	84	*****	35770	22400	959	*****	*****	*****	6.26	1.3	9.0
7.5	8.99	480	420	90	*****	38325	24000	1028	*****	*****	*****	6.78	1.2	8.9
8.0	9.04	512	448	96	*****	40880	25600	1096	*****	*****	*****	7.30	1.1	8.9
8.5	9.09	544	476	102	*****	43435	27200	1165	*****	*****	*****	7.83	1.0	8.8
9.0	9.13	576	504	108	*****	45990	28800	1233	*****	*****	*****	8.35	1.0	8.7
12.0	9.36	768	672	144	*****	61320	38400	1644	*****	*****	*****	11.48	0.7	8.5
15.0	9.54	960	840	180	*****	76650	48000	2055	*****	*****	*****	14.61	0.6	8.3

Tabla 2: Reporte de resultados

Resumen de la Propuesta Operativa

PARÁMETRO	CASO I Actual	CASO II Sugerido
FLUJO DE RECIRCULACION	615 m ³ /h	615 m ³ /h
VOLUMEN	140 m ³	140 m ³
DIFERENCIA TEMPERATURA	7 °C	7 °C
EVAPORACIÓN	7.7 m ³ /h	7.7 m ³ /h
PERDIDAS POR ARRASTRE	0.06 m ³ /h	0.06 m ³ /h
CICLO DE CONCENTRACIÓN	3.0	5.0
MAKE-UP	11.6 m ³ /h	9.70 m ³ /h
PURGAS	3.9 m ³ /h	1.9 m ³ /h
PERDIDAS LIQUIDAS	3.96 m ³ /h	1.96 m ³ /h
TIEMPO DE RESIDENCIA	35 h	71 h

Tabla 3: Valores Operativos del Sistema de Enfriamiento

V.1.3. Análisis Técnico – Económico

A la fecha del reporte de la hoja de análisis, nuestra compañía venía suministrando el Tratamiento Químico al cliente FG S.A., con productos convencionales, fosfato – fosfonato - zinc y polímeros, cuyas restricciones tecnológicas eran: el $\text{pH} \leq 8.0$, se revierten con los halógenos, LSI no mayor que 2, bajos niveles de calcio ≤ 1000 ppm., ello limitaba a mantener los ciclos de concentración en 3.0. Estas limitaciones hacia que se trabajara con los valores que se indican en la tabla 3, Caso I.

Luego del cambio, en enero del 2000, se implemento el nuevo programa para trabajar con productos de mayor tecnología, Alquil Epoxi Carboxilato (AEC); con trabajo en zona alcalina, $\text{pH} \leq 9.0$, no se revierten con los halógenos, LSI cercano a 3.0, y niveles de calcio $\leq 2,000$ ppm.; lo que permitió elevar hasta 5.0 los ciclos de concentración. Los valores de operación se indican en la tabla 3, Caso II.

Análisis económico de ambos casos

	CASO I	CASO II
COSTO AGUA BLANDA, US\$/m ³	0.31	0.31
CONSUMO DE AGUA, m ³ /año	100,224.0	83,808.0
TOTAL COSTO AGUA BLANDA, US\$/año	31,069.4	25,980.5
COSTO PROGRAMA QUIMICO, US\$/año	38,400.0	30,000.0

AHORRO

POR AGUA, US\$/año	5,088.9
POR PROGRAMA QUÍMICO, US\$/año	8,400.0

Tabla 4: Comparativo Económico

El ahorro económico por el uso de productos de última tecnología, es acompañado por los resultados técnicos.

	CASO I Promedio 1998-1999	CASO II Promedio 2000-2001
TASA DE CORROSION, mpy	3.51	2.33
TASA DE DEPOSITACIÓN, mpd	2.85	0.95

Tabla 5: Resultados de tasa de corrosión y depositación

Nota: Tasa de corrosión ≤ 3.0 y Tasa depositación ≤ 2.0
(recomendados para este tipo de industria)

V.1.3. Selección del Programa

Para una buena selección del programa, se debe tener en cuenta los siguientes puntos, que no es una regla, sino más bien son criterios prácticos.

- Calidad del agua de reposición, mediante el análisis físico – químico podremos detectar que elementos puede ser limitantes para el programa químico a seleccionar.
- Se debe conocer el proceso del cliente, a fin de determinar los equipos críticos; esto es donde las temperaturas son mayores o los flujos de agua son menores.
- Conocer también las restricciones del proceso (equipos), que pueden limitar por usar sólo cierta calidad de agua.
- Se calcula el LSI para determinar el grado de agresividad del agua. El valor del LSI nos indicara si el agua es corrosiva o incrustante.
- Se realiza el balance de masa para calcular los demás valores faltantes y se tenga los datos como el de la tabla 3.
- Se debe también investigar, si en la operación de la planta no se produce uso directo del agua de enfriamiento o se presenta perdidas que no retornaran al sistema.
- Ver si para el control de algas y bacterias usan cloración o están impedidos de usarlo.

Para programas convencionales, determinado el LSI, la selección de productos es como sigue:

- Cuando el valor de LSI nos indica que estamos frente a un agua corrosiva ($LSI \leq -0.5$) y los niveles de dureza es baja, se recurre al uso de inhibidor base zinc. Se controla el pH en 7.0.
- Si para estos valores de LSI (≤ -0.5) el pH esta entre 7.5 y 8.5, se puede usar un inhibidor base fosfato controlando el residual de fosfato en el rango de 10 a 30 ppm según la presencia de dureza de calcio; menor dureza mayor residual.
- Cuando el valor de LSI esta entre -1.0 y $+1.5$ y la dureza esta entre 25 y 200, se recurre a seleccionar un producto fosfato/zinc o fosfonato/zinc. El pH se debe mantener en el rango de 7.0 y 8.0. Para durezas mayores se debe acompañar de un polímero para ayudar a dispersar las sales formadores de incrustación.
- Para valores de LSI entre $+1.0$ y $\leq +2.0$, el programa seleccionado debe ser fosfato/fosfonatos/polímeros dependiendo del contenido de dureza cálcica y del pH se fijara el residual de fosfato.

Como regla general se tiene los siguientes criterios de control para programas convencionales.

Consideraciones para selección de un tratamiento convencional	
pH	6.8 - 7.8
Alcalinidad, ppm	35 - 150
Conductividad, μ mhos	\leq 6,000
Sílice, ppm	\leq 150
Cloruros, ppm	500
Sulfatos, ppm	500
Calcio, ppm	25 - 1,000
Sólidos Suspendidos, ppm	\leq 25
LSI	\leq + 2.0

Tabla 6: Límites de Control – Programas Convencionales

Por la parte de los productos no convencionales a seleccionar se debe tener en cuenta los siguientes aspectos que pueden ser críticos y, esta direccionado para los sistemas donde los productos convencionales no pueden superar barrera del LSI (+1.95) y además donde los valores de dureza de calcio es mayor que 1,000 ppm.

Consideraciones para selección de un tratamiento no convencional	
pH	7.8 - 9.0
Alcalinidad, ppm	\geq 150
Conductividad, μ mhos	\leq 6,000
Sílice, ppm	\leq 200
Cloruros, ppm	\leq 1,500
Sulfatos, ppm	\leq 2,500
Calcio, ppm	100 - 2,000
Sólidos Suspendidos, ppm	\leq 25
LSI	+ 2.85

Tabla 7: Límites de Control – Programas no Convencionales

CASO II

- Inhibidor de Incrustaciones y Corrosión (Continuum AEC 3120),
Controlar las reacciones anódicas y catódicas del proceso normal de corrosión.
Controlar la depositación de las sales incrustantes, mediante la distorsión y deformación cristalina y dispersión a través de la repulsión electrostática, en un amplio rango de pH.

La dosis esta en el rango de 80 a 120 ppm.

El programa de análisis es la medición de residual de molibdato, fijado en 1.5 ppm.

El control esta en la medición de la tasa de corrosión, fijado en 3.0 mpy y la tasa depositación, fijado en 2 mpd.

- Microbiocida (Spectrus NX 1104), con acción sobre algas, bacteria productoras de H₂S, organismos sésiles y, específicamente, Legionella Pneumophila.

La dosis esta en el rango de 50 a 100 ppm.

El control es la medición de las bacterias e inspección visual de la torre de enfriamiento

En este punto no se cambio de producto, se mantiene la del Caso I; dado que se tuvieron buenos resultados técnicos del control microbiológico.

Según los datos de la tabla 2, el programa seleccionado para el cliente fue:

CASO I

- Inhibidor de Incrustaciones (Depositrol BL 5321), con formulación desarrollada para evitar, especialmente, depósitos y fouling característicos en sistemas de enfriamiento, además contiene un inhibidor para materiales de cobre.

La acción es mediante la distorsión cristalina y la dispersión a través de la repulsión electrostática.

La dosis esta en el rango de 20 – 80 ppm.

El control esta en la medición de la tasa de depositación, fijado en 2 mpd.

- Inhibidor de corrosión (Inhibitor OP 8444), con formulación desarrollada para proteger los componentes de acero. Previene la corrosión cerrando la celda catódica al formar un precipitado leve.

La dosis esta en el rango de 40 a 80 ppm.

El programa de análisis es la medición de residual de zinc, fijado en 2.5 ppm.

El control final es medición de la tasa de corrosión, fijado en 3.0 mpy.

- Microbiocida (Spectrus NX 1104), con acción sobre algas, bacteria productoras de H₂S, organismos sésiles y, específicamente, Legionella Pneumophila.

La dosis esta en el rango de 50 a 100 ppm.

El control es la medición de las bacterias e inspección visual de la torre de enfriamiento.

V.2. Desarrollo de las etapas Investigación Técnico-Económica

V.2.1. Objetivo

La decisión de establecer relaciones técnico-comerciales con un cliente potencial, proviene de la instructiva del gerente o las oportunidades son detectados por los ingenieros.

Posteriormente a la designación o asignación de un nuevo cliente potencial se inicia el trabajo de investigación Técnico-Económica, que consiste básicamente en una recopilación de datos de operación.

V.2.2. Estudio del Sistema

Consiste en seguir paso a paso los procesos descritos anteriormente y como puntos generales del desarrollo de este ítem, podemos señalar:

- Datos de operación
- Datos de Proceso
- Análisis Físico-Químico
- Ensayos de Laboratorio
- Ensayos de Campo
- Implementación del Programa
- Control y Monitoreo
- Revisión de Resultados

V.2.3. Recomendaciones

Con los datos obtenidos en el estudio del sistema, se elabora un Informe Técnico en cada etapa de dicho proceso. Al determinar los beneficios que el cliente tendrá con nuestro Programa de Tratamiento, se presenta el Informe Técnico-Económico. Se fijan las metas, y para conseguir los resultados se requiere implementar algunas recomendaciones, que pueden estar orientados a:

- Cambio del Tratamiento Químico
- Empleo de un Programa de mejor tecnología
- Implementar otro tipo de Control Microbiológico
- Trabajo en otros parámetros de operación
- Nuevos puntos de inyección de químicos
- Instalación de equipos
- Frecuencia de limpieza
- Tipo de Mantenimiento
- Instalación de testigos de prueba

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

En las fabricas es muy importante el control de la corrosión y el control del ensuciamiento en los sistemas de enfriamiento de motores, intercambiadores, chillers, chaquetas de reactores, etc.. Por ello en el mercado existen compañías que se dedican a proveer programas de tratamiento químico, cada uno de ellos ofrecen tecnologías para minimizar los problemas que se presentan en los sistemas de enfriamientos.

Los problemas de Corrosión e Incrustación generan grandes pérdidas en la industria, que en muchos caso todavía no es cuantificado con el peso real. Pérdidas por desgaste de equipos y tuberías, en periodos cortos requieren cambios o mantenimientos; pérdida de producción por paradas no programadas debido a las fallas consecuencia del desgaste o taponamiento de equipos y/o tuberías

Los conocimientos básicos de transferencia de calor y balance de masa son aplicables al tema. Y los conocimientos de ingeniería ayudan a visualizar mejor cada proceso, dado que los sistemas de enfriamiento están presentes en industrias de pintura, industrias de plásticos, textiles , Refinerías de petróleo, Industrias Azucareras, etc.

El conocimiento detallado de los procesos, aún siendo una pequeña parte de una empresa, como es el sistema de enfriamiento de una planta, es importante para operar, para realizar el mantenimiento y/o para sugerir mejoras del proceso.

CAPITULO VII

BIBLIOGRAFIA

1. Industrial Water Conditioning, Handbook of BetzDearborn; Ninth Edition, 1991.
2. Chemical Week, Water treatment edition; May 13, 1992.
3. Basic Principles of Water Treatment, Cliff Morelli.
Tall Oaks Publishing, Inc., First Edition, 1996
4. Reverse Osmosis, Wes Byrne
Tall Oaks Publishing, Inc., First Edition, 1995
5. Introducción a la Corrosión microbiológica, Hector A. Videla –
Roberto C. Salvarezza.
Librería Agropecuaria S.A., primera edición 1984
6. Control de Incrustaciones y Corrosión en Instalaciones
Hidráulicas de Edificios. Russell W. Lane
McGRAW-HILL, 1995
7. Extracción del Calor por Evaporación en Torres de Enfriamiento.
Thomas E. Eaton. Profesor: Universidad de Kentucky
Reunión Técnica Anual 1977: Inst. de Torres de Enfriamiento.
Houston, Texas.

CAPITULO VIII

APENDICES

Apéndice A

CALCULO DEL INDICE DE LANGELIER

El Índice de Langelier, esta basado en la constante de solubilidad del carbonato de calcio. No considera los demás factores que afectan la deposición. Este índice establece que cuando el pH de saturación del carbonato de calcio es menor que el pH del sistema, precipitara carbonato de calcio.

- $\text{pH} - \text{pH}_s > 0$ existe precipitación

También establece que si el pH del sistema se mantiene bajo el pH de saturación del carbonato de calcio, no habrá precipitación.

- $\text{pH} - \text{pH}_s < 0$ no existe precipitación

Para el uso corriente el valor del pH_s puede determinarse mediante gráficos o por cálculo aproximado usando los valores de la tabla adjunta.

- $\text{pH}_s = 9.30 + A + B - (C + D)$

Tabla : Constantes para el cálculo del pH de saturación:

STD ppm	A	Temp oC	B	Dureza Calcica ppm	C	Alcalinidad Total ppm	D
50	0.07	0	2.60	10	0.60	10	1.00
100	0.10	5	2.46	12	0.68	12	1.08
200	0.13	10	2.34	14	0.75	14	1.15
400	0.16	15	2.21	17	0.83	17	1.23
600	0.18	20	2.09	20	0.90	20	1.30
800	0.19	30	1.88	25	1.01	25	1.40
1000	0.20	40	1.71	30	1.06	30	1.48
2000	0.22	50	1.55	40	1.20	40	1.60
4000	0.25	60	1.40	50	1.30	50	1.70
		70	1.27	60	1.38	60	1.78
		80	1.16	80	1.51	80	1.90
		100	1.60	100	1.60	100	2.00
		150	1.78	150	1.78	150	2.18
		200	1.90	200	1.90	200	2.30
		300	2.08	300	2.08	300	2.48
		500	2.30	500	2.30	500	2.70
700	2.45	700	2.45	700	2.85		
1000	2.60	1000	2.60	1000	3.00		

Otro de los índices desarrollados es la de Ryznar, posterior a Langelier, se emplea las mismas constantes de la tabla para el cálculo del pH de saturación.

El Índice de Rayznar establece que cuando el pH del sistema es mayor que(2 pHs – 6) la deposición ocurrirá, cuando el pH es menor que este valor el agua es corrosiva.

- 2 pHs – pH < 6 sistema es incrustante
- 2 pHs – pH > 6 sistema es corrosivo

Los valores obtenidos de LSI (Índice de Langelier) y RSI (Índice de Rayznar) se interpretan como:

LSI	RSI	Condición
3	2.5	Extremadamente Incrustante
2	4	Muy incrustante
1	5.5	Incrustante
0.5	6.5	Ligeramente Incrustante
0	7	Agua Estable
-0.5	8	Ligeramente Corrosiva
-1	9	Corrosiva
-2	10.5	Fuertemente Corrosiva
-3	12	Muy Fuertemente Corrosiva

Tabla: Interpretación de Indices de Langelier y Rayznar

Apéndice B

PROCEDIMIENTO PARA EVALUAR LA TASA DE CORROSIÓN Y DEPOSITACIÓN

Determinación : Tasas de Corrosión - Depositación			
Fecha :	30.07.98	Sustituye a :No aplicable	CUP-001/03

1.- **Aplicación** : Cupones testigos metálicos

2.- **Objetivo** : El acompañamiento de tasa de corrosión y de depositación en un circuito de agua de enfriamiento, constituye, uno de los elementos de control del programa de tratamiento químico aplicado al sistema.

El procedimiento más difundido para la determinación de estos parámetros es aquel que emplea cupones de prueba. Estos cupones son de metal semejante a los materiales usado en el sistema, de dimensiones patronizadas.

El ensayo se basa en las alteraciones físicas que los cupones de prueba sufren después de una exposición al medio, los cupones fueron preparados para ser almacenados por largos períodos de tiempo, deben estar en sobres de polietileno, en el cual se ha colocado un papel con inhibidor.

3.- **Equipo**

- 3.1- Estufa de Secado
- 3.2- Balanza electrónica
- 3.3- Máquina fotográfica

4.- **Materiales**

- 4.1- Vaso pp 250 ml.
- 4.2- Cepillo de cerda duro
- 4.3- Papel gofrado

5.- **Reactivos**

- 5.1- Solución BetzDearborn C-20 (C 1:2)
- 5.2- Polvo limpiador

6.- Precaución de Seguridad

Utilizar equipamiento de protección individual

7.0 Procedimiento

- 7.1 Los cupones testigo se recepcionarán en sobres para cupones, los cuales deben estar identificados adecuadamente incluyendo peso inicial del cupón, (Anexo 11.1) y acompañados de Solicitud de Análisis, pudiendo ser uno o más cupones en la misma solicitud.
- 7.2.- Ingresar al libro recepción de muestras.
- 7.3.- Ingresar al Cuaderno de Registro específico de cupones, con la información registrada en los sobres para cupones.
- 7.4.- Se completa con esta información Formulario de cupón escrito a máquina (anexo 11.2).
- 7.5.- Se verifica información transcrita al formulario cupones.
- 7.6.- Se masa en balanza analítica hasta el cuarto decimal, obteniéndose peso con depósito, transcribir al Cuaderno de registro específico de cupones.
- 7.7.- Tomar fotografía a cupón con depósito.
 - Flash - Posición frente a muro 1 mt. (luz indirecta)
 - Velocidad - X
 - Abertura diafragma - 5.6
- 7.8.- Limpiar cupón con solución C-20 1:2 en el menor tiempo posible
- 7.9.- Cepillar enérgicamente el cupón con agua y con polvo limpiador de cupones mezcla (carbonato + tripolifosfato), hasta brillo metálico. Humedecer cepillo con agua de vez en cuando.
- 7.10.- Secar en estufa a 105° durante 5 minutos.
- 7.11.-Enfriar y masar cupón limpio y seco, obteniéndose peso final transcribir al Cuaderno registro específico de cupones.
- 7.12.- Se realiza cálculo de tasas de corrosión y depositación. Anexo 11.3, aplicando los valores de densidad y área según el material del cupón.(Anexo 11.4).

- 7.13.- Registrar Información en formulario de cupones (peso depósito - Peso final- Tasa depositación - Tasa corrosión)
- 7.14.- Verificar lo transcrito
- 7.15.- Se fotografía cupón limpio con información completa
- 7.16.- Enviar a revelado fotográfico (anexo 11.5)
- 7.17.- El Número de copias de cada foto son 2 (original más 1 foto adicional, requerimientos especiales, será solicitado por el Ingeniero de Negocios(IN), Supervisor de Negocios(SN), Gerente de Negocios(GN), en Solicitud de Análisis . Se retiran fotografías del laboratorio fotográfico.
- 7.18.- Verificar fotografías
- 7.19.- En caso de estar desconforme con el servicio de revelado serán enviado nuevamente para obtener la fotografía solicitada.
- 7.20.- Si es aceptada, despachar al IN.,SN.,GN. solicitante (Provincia).

8.- Referencia Bibliográfica

- 8.1.- Manual Betz HandBook of Industrial Water Conditioning.

9.- Generación de Informe y Manipulación de Muestra

Los resultados serán registrados en “ Cuaderno Registro específico de Cupones “ Anexo 11.6.

- 9.1.- Liberación del Cupón muestra

Enviada las fotografías con los valores obtenidos al Ingeniero de Negocios solicitante se tomará como liberada.

- 9.2.- Archivo de la muestra (cupón) y negativos

Después de liberado el cupón con el formulario respectivo, será mantenido por un período de 6 meses en un lugar identificado como 1) Cupones- Concluído, 2) Negativos - Concluídos en el L.S. Posterior a ese tiempo se procederá a su eliminación.

- 9.3.- Archivo de planilla Solicitud de Análisis

Serán guardados en archivador, denominado “Archivo planillas de Recepción de Muestras “, la que se mantendrá por un período de 1 año. Posterior a ese período se procederá a su eliminación.

- 9.4.- Archivo Cuaderno registro específico de cupones

Liberado el cupón los valores se mantendrán en el cuaderno registro específico de cupones por un período de 1 años. Posterior a ese período se procederá a su eliminación.

10.- Verificación

El Químico Analista de Laboratorio de Servicio, verificará que este documento se ciña a lo planteado.

11.0 ANEXOS

Anexo 11.1

Información en sobres para cupones

Lado A

Cupon N°
Sistema
Cliente o Empresa

Lado B

Nombre del solicitante.
Fecha Instalación
Fecha Retiro

Anexo 11.2

FORMULARIO DE CUPONES

BetzDearborn

Cupón	Material	Equipo	Instalado	Retirado	Tiempo de Exposición

Peso Inicial (gr.)	Peso con depósito (gr.)	Peso Final (gr.)	Tasa de Deposición (mpd)	Tasa de Corrosión (mpy)

REV.09/96

DOC.N° CS-I-003

Anexo 11.3

CALCULO, TASA CORROSION Y DEPOSITACION

* Pi	Peso Inicial	(g)
* Pd	Peso con Depósito	(g)
* Pf	Peso Final	(g)
* D	Densidad	(g/cm ³)
* A	Area expuesta	(pulg ²)
* t	Tiempo de exposición	(dias)
* Tc	Tasa de corrosión	(mpy)
* Td	Tasa de deposición	(mpd)

EXPRESIÓN DE RESULTADOS

- Tasa de corrosión (mpy) = Milésimas de pulgada de penetración por año
- Tasa de deposición (mpd) = Miligramos de depositación por pulgada cuadrada por día.

$$Tc = \frac{(Pi-Pf) \times 22.3 \times 10^3}{D \times A \times t}$$

$$Td = \frac{(Pd-Pf) \times 10^3}{A \times t}$$

Anexo 11.4

MATERIAL Y AREA DE CUPONES

Material	Densidad g/cm ³	Area Pulg ²
ALUMINIO	2.70	3.2832
COBRE	8.91	3.4570
ACERO CARBONO	7.86	3.2832
ACERO CARBONO C/PERFORACIÓN	7.86	3.4300
ACERO INOXIDABLE	7.90	3.2832
ACERO INOXIDABLE C/PERFORACIÓN	7.90	3.4300
ADMIRALTY	8.52	3.4570
LATON	8.47	3.2832

Anexo 11.5

ENVIO REVELADO LABORATORIO FOTOGRAFICO

- Casa fotográfica seleccionada de acuerdo a :
 - Colores parejos
 - Atención
 - Calidad de colores