

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA Y TEXTIL**



**“APLICACION DE UN BIOCIDA OXIDANTE BASADO EN BROMO EN
EL TRATAMIENTO MICROBIOLÓGICO DE UN SISTEMA DE
ENFRIAMIENTO ABIERTO Y SU IMPACTO AMBIENTAL”**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO QUÍMICO
POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS**

**PRESENTADO POR:
KELLY LUZ MENDOZA PEREZ**

LIMA – PERU

2004

**“Agradezco a nuestro Señor
Jesús por las bendiciones que
me da en mi vida y a mi madre
por su apoyo permanente”**

RESUMEN

En los sistemas de enfriamiento abierto con agua se producen tres problemas principalmente: incrustaciones, corrosión y el crecimiento microbiológico.

Los microorganismos se depositan en las superficies de intercambio de calor, disminuyendo la eficiencia en la transferencia por que son de naturaleza fuertemente aislante, también producen problemas de corrosión y se dispersan en el ambiente produciendo problemas a la salud: La Legionella.

Con la finalidad de utilizar un biocida potente, que sea más efectivo que los biocidas clorados y otros tipos de biocidas, que cumpla las funciones de ser un buen bactericida y alguicida, se propone un tratamiento microbiológico el cual utiliza un biocida oxidante basado en bromo.

Se demostrará la eficiencia de este producto, su impacto ambiental y el efecto en el efluente. Este producto actualmente se está aplicando en un sistema de enfriamiento abierto que opera con una Torre de Enfriamiento de tiro inducido, el cual presentaba un gran ensuciamiento microbiológico y era difícil de controlar con los biocidas comúnmente aplicados por las empresas de Tratamiento de Agua en nuestro país. Se utiliza un adecuado sistema de dosificación y control del biocida para obtener residuales aceptables, manteniendo el sistema en óptimas condiciones operacionales y ambientales, beneficiando económicamente a la empresa, la cual disminuirá sus costos con respecto al uso de otros biocidas e incrementará la vida útil de los equipos.

INDICE

	Pag.
1. INTRODUCCION.....	5
2. DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS Y TECNICAS.....	7
2.1 Torres de Enfriamiento.....	7
2.1.1 Funcionamiento.....	7
2.1.2 Datos.....	7
2.1.3 Fórmulas y Términos Utilizados.....	10
2.1.4 Parámetros de Control en el Agua de Recirculación.....	11
2.2 Problemas Producidos en Sistemas de Enfriamiento Abierto.....	12
2.2.1 Problemas de Corrosión.....	12
2.2.2 Problemas de Depósitos.....	14
2.2.3 Problemas Microbiológicos.....	15
2.2.3.1 Ensuciamiento Microbiológico.....	16
2.2.3.2 Corrosión Bacteriana.....	16
2.2.3.3 Legionella: Riesgo a la Salud.....	25
2.3 Tratamiento Químico de Agua en Torres de Enfriamiento.....	29
2.3.1 Control de la Corrosión.....	29
2.3.2 Control de las Incrustaciones.....	29
2.3.3 Control Microbiológico.....	30
2.3.3.1 Tipos de Biocidas.....	31
2.3.3.2 Biocidas Oxidantes.....	32
2.3.3.3 Biocidas No oxidantes.....	32
2.3.3.4 Biodispersantes.....	34
2.4 Biocidas Bromados.....	34
2.4.1 Química del Bromo.....	35
2.4.2 Tipos de Biocidas Bromados.....	35
2.4.3 Efectividad con respecto a los biocidas Clorados.....	37
2.4.4 Cinética.....	42
2.4.5 Problemas Producidos por el uso de este tipo de biocidas.....	43

3. DESARROLLO DEL TEMA.....	44
3.1 Caso Estudio.....	44
3.1.1 Problemática Actual.....	44
3.1.2 Propuesta Técnica.....	49
3.2 Aplicación y Control del Biocida.....	54
3.2.1 Parámetros de Control.....	54
3.2.2 Sistema de Dosificación y Control.....	56
3.3 Resultados Obtenidos.....	61
3.3.1 Primera Etapa.....	61
3.3.2 Segunda Etapa.....	61
4. IMPACTO AMBIENTAL.....	64
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
6. BIBLIOGRAFIA.....	67
7. APENDICES.....	68
7.1. Cálculos para el Sistema de Enfriamiento Abierto.....	68
7.2. Programa de Monitoreo y Control Analítico de los Parámetros	
del Tratamiento.....	69
7.3. Control y Monitoreo Microbiológico.....	70
7.4. Parámetros de Control del Agua de Enfriamiento.....	71
7.5. Determinación de la Calidad de Agua.....	72
7.5.1 Índice de Saturación de Langelier.....	72
7.5.2. Índice de Estabilidad de Ryznar.....	72

1. INTRODUCCION:

Las torres de enfriamiento y los condensadores evaporativos, son los medios eficientes y rentables de extracción de calor en los sistemas de enfriamiento para acondicionamiento de aire, refrigeración y procesos industriales en general. Se utilizan en las industria desde hace más de medio siglo, son equipos compactos, silenciosos, consumen poca energía y ahorran mas del 95% del agua en circulación. Son sencillos de instalar y mantener, asegurando la eficiencia de intercambio de calor y la seguridad del mismo.

En estos sistemas se hace circular agua fría desde una torre de enfriamiento hasta el equipo intercambiador de calor. El agua calentada es devuelta a la torre para enfriarla por evaporación. El agua perdida por evaporación del circuito de recirculación abierta debe ser reemplazada, lo cual se consigue gracias a un aporte adicional de agua fresca al sistema. Como la evaporación es necesaria para producir un efecto refrigerante, las partículas sólidas en suspensión o disueltas que entran con el agua de aporte se concentran. Esto significa que las concentraciones de sales en el agua de recirculación serán más altas que en el agua de aporte. Para evitar sobrepasar los límites de solubilidad de las especies disueltas, se deben evaluar los ciclos de concentración, que vienen a ser la relación entre la concentración de sólidos disueltos en el agua de refrigeración en el circuito y su concentración en el agua de aporte, deben ser controlados de forma aceptable mediante la descarga o la purga de parte del agua de refrigeración. Aumentando la purga se disminuyen los ciclos de concentración. Los sistemas de refrigeración abiertos normalmente funcionan entre 3 y 10 ciclos de concentración. Desde el punto de vista económico, es preferible un funcionamiento del sistema a ciclos más altos, pero los ciclos están limitados por la calidad del agua, los índices de solubilidad y las posibilidades del programa de tratamiento químico que se esté aplicando.

Se deben proteger los circuitos de refrigeración contra tres amenazas principales:

- Incrustaciones
- Ensuciamiento biológico
- Corrosión

Las incrustaciones y el ensuciamiento biológico reducen la transferencia de calor y pueden comprometer muy seriamente los niveles de producción aceptables en la planta industrial, forzando paradas no programadas, provocando que los tiempos de parada para la limpieza de los equipos sean más largos de lo necesario.

Además, un ensuciamiento biológico no controlado puede favorecer el crecimiento de organismos patógenos, los cuales proliferan siendo un peligro potencial para la salud, como puede ser por ejemplo la bacteria *LEGIONELLA PNEUMOPHILA*, que produce una enfermedad a las vías respiratorias conocida como Enfermedad de los Legionarios, que termina en muerte del paciente contaminado. La corrosión puede perjudicar el equipo intercambiador de calor por picaduras, con lo cual pueden ser necesarios paradas de planta imprevistas para reparar este equipo, que como mínimo, contribuirá a aumentar los costos de amortización, reduciendo la vida de los equipos.

Para proteger bien los sistemas de enfriamiento, garantizar un funcionamiento económico del circuito y optimizar la productividad de la planta, se deberá prevenir las incrustaciones, la corrosión y el ensuciamiento microbiológico con un programa de tratamiento del agua recirculante de modo integral.

Hay una amplia lista de biocidas químicos, de tipo oxidantes y no oxidantes, que son utilizados en controlar los niveles microbiológicos. Con la finalidad de utilizar un biocida económico y de amplio espectro que cumpla las funciones de ser bactericida y alguicida, se propone un tratamiento microbiológico utilizando un biocida oxidante basado en Bromo, producto que es ambientalmente aceptable.

Se demostrará la eficiencia de este producto, el cual mantendrá el sistema en óptimas condiciones operacionales y ambientales, beneficiando económicamente a la empresa, y que disminuirá sus costos con respecto al uso de otros biocidas incrementando la vida útil de los equipos.

2. DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS Y TECNICAS

2.1 Torres de Enfriamiento

Cualquier torre de enfriamiento está formada básicamente por un sistema de distribución del agua, una superficie de intercambio (características del fabricante) o relleno y una bandeja donde cae el agua enfriada.

2.1.2 Funcionamiento

El agua procedente de la fuente de calor se introduce por medio de una conexión de entrada y es distribuida en el relleno en forma pulverizada. Simultáneamente, el aire del ambiente es inducido o forzado (mediante ventiladores) a pasar a través de la torre, provocando que una pequeña porción del agua se evapore. Esta evaporación extrae calor del agua restante. El agua enfriada cae en la bandeja de la torre, desde donde es devuelta a la fuente de calor. El circuito es abierto dado que el agua que va a ser enfriada está en contacto con la atmósfera.(ver fig. N° 1 y 2)

2.1.2 Datos

Para llevar un adecuado control del sistema de enfriamiento se debe conocer la información global, que puede clasificarse en: Datos mecánicos (físicos) y datos analíticos (químicos).

Los Datos Mecánicos operativos necesarios son:

- a) Tipo de sistema de enfriamiento; de recirculación abierta, cerrada, paso único. Si es recirculación abierta: tiro natural, tiro forzado, mecánico, etc.
- b) Capacidad de retención del sistema; o volumen total de agua en el sistema (torre + tuberías), en galones o m³. Se calcula añadiendo el 20% al 30% más al volumen de la tina, poza o reservorio de la torre.
- c) Tipos de metales y aleaciones; metales presentes en el sistema y su ubicación.
- d) Caída o diferencia de temperatura en la torre; entre el agua caliente de retorno y el agua fría de salida, en °C ó °F.

- e) Velocidad de Recirculación a través del sistema; como caudal en Galones Por Minuto (GPM) o m^3/h .
- f) Presencia de equipos, como serpentines, tubos, espacios anulares, chaquetas de agua, etc.
- g) Dispositivos de purga, agua de reposición y rebose de agua.
- h) Cantidad y calidad del agua de reposición disponible.
- i) Conocimiento de posibles contaminantes del agua circulante, por el proceso industrial existente o por plantas industriales cercanas, y pérdidas de agua por fugas en el sistema.
- j) Espacio disponible para dosificadores de productos químicos de tratamiento.
- k) Conocer si el sistema de enfriamiento es continuo o intermitente. Si es intermitente será necesario conocer las horas de operación o programa de producción de la planta.

Los datos analíticos tanto para el agua de reposición y de la torre son:

Conductividad (TDS), en ppm o $\mu s/cm$

Dureza Total, en ppm como $CaCO_3$

Alcalinidad Total, en ppm como $CaCO_3$

Cloruros; en ppm como Cl^-

PH

Hierro; en ppm como Hierro total.

Sílice, en ppm como SiO_2



Fig. 1 Corriente inducida

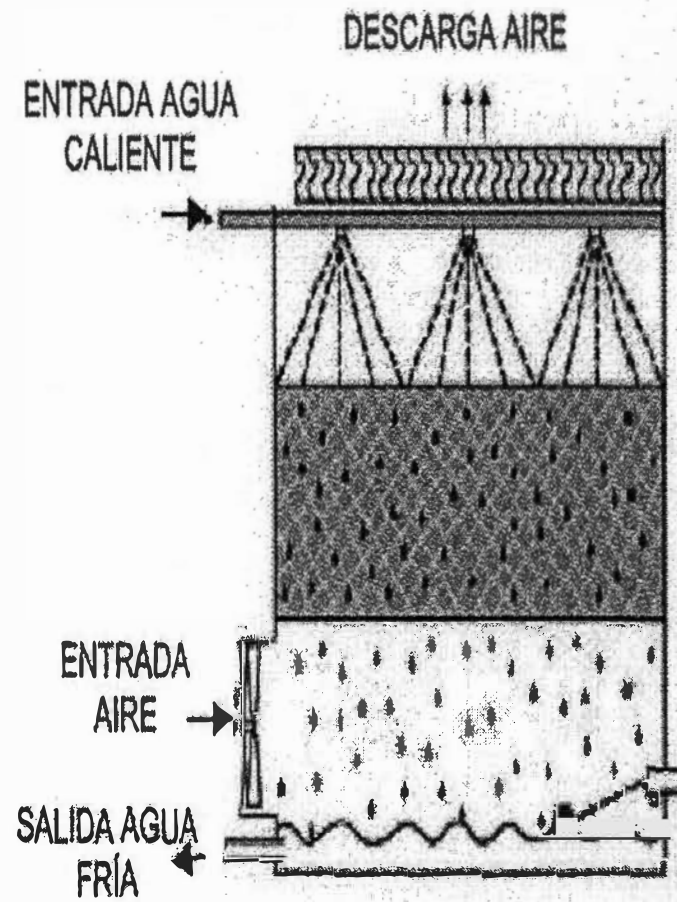
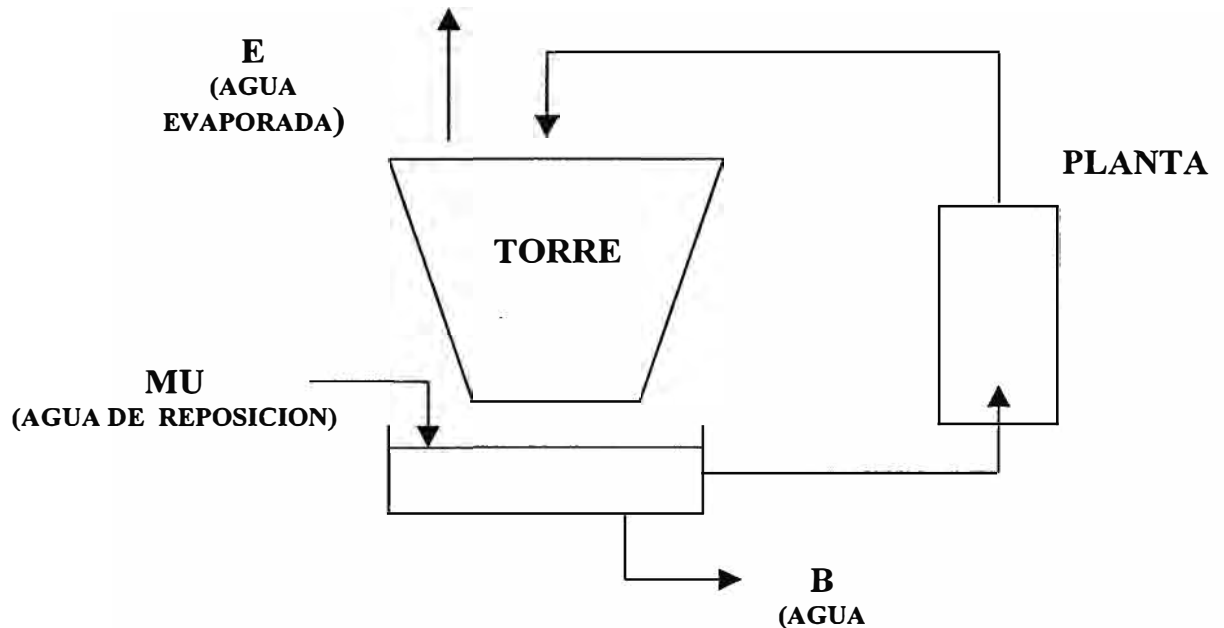


Fig. 2 Corriente forzada

2.1.3 Fórmulas y Términos Utilizados



- a) **Ciclos de Concentración (C):** Cantidad de vueltas que el agua da en el circuito para concentrar los iones e impurezas disueltas en el agua. Se calcula de la siguiente forma:

$$C = \frac{\text{TDS (Sólidos Totales Disueltos)}_{\text{AGUA DE CIRCULACION}}}{\text{TDS(Sólidos Totales Disueltos)}_{\text{AGUA DE REPOSICION}}}$$

- b) **Velocidad Recirculación (V_R):** Es el caudal con el que el agua es impulsada de la torre al sistema. Se calcula en forma práctica asumiendo el 90% ó el 80% del caudal de la bomba de recirculación.

$$V_R = 0.9 \text{ (GPM bomba) o } 0.8 \text{ (GPM bomba)}$$

- c) **Velocidad de Evaporación (E):** Es la velocidad a la que el agua evaporada fluye para enfriar el agua de circulación. Es una pérdida de agua en el sistema.

$$E = V_R \times (DT/1000)$$

$V_R \rightarrow$ GPM

$DT \rightarrow$ °F

- d) **Purga (B):** Agua de circulación que hay que drenar o extraer para evitar la concentración excesiva de los sólidos disueltos e impurezas del sistema.

$$B = E / (C-1)$$

- e) **Agua de Reposición o Make Up (MU):** Es el agua necesaria para equilibrar las pérdidas por evaporación y purgas.

$$MU = E + B = E \times C / (C-1)$$

2.1.4 Parámetros de Control en el Agua de Recirculación

PARAMETRO	RANGO DE VALORES
Dureza Cálrica (como CaCO ₂)	< 8000 ppm
PH	6 – 9
Hierro (Fe)	< 0,5 ppm
Sílice (SiO ₂)	< 150 ppm si pH < 7,5
	< 100 ppm si pH > 7,5
Ciclos de Concentración	2.5 – 6
Alcalinidad M	Dependen del tipo de agua
Cloruros	Fuente

Controles para la Corrosión y Crecimiento Biológico:

- a) **Corrosión:** Se utilizan cupones o testigos de corrosión que son de acero al carbono, y se ubican en un punto dentro del agua de recirculación. El cálculo de la corrosión, se estima como **Velocidad de corrosión en MPY** (milésimas de pulgada por año). Por método químico, se calcula la cantidad de Hierro total en el sistema (ppm).
- b) **Crecimiento Biológico:** Se realiza un conteo total de microorganismos utilizando cupones de incubación rápida, cuya lectura en unidades formadoras de colonias por mililitro, se realiza en 48 horas; o usando un análisis bacteriológico, que es más exacto y específico para cada tipo de microorganismo, pero demanda mayor tiempo.

En el cuadro se adjunta los valores para la corrosión y conteo de microorganismos:

	EXCELENTE	ACEPTABLE	MALO
CONTEO BACTERIAL UFC/ml	$<10^3$	$10^3 - 10^5$	$>10^5$

2.2 Problemas Producidos en Sistemas de Enfriamiento Abierto

2.2.1 Problemas de Corrosión

La corrosión es un proceso electroquímico por el cual el metal retorna a su condición original natural de mineral en forma de óxido. El proceso corrosivo es similar a una batería y funciona como una célula electroquímica ánodo + cátodo + electrolito. Los resultados en el agua de enfriamiento y sus equipos son los mismos: pérdidas del metal (picaduras), contaminación del agua como “aguas rojas” propias de los óxidos ferrosos y formación de sedimentos con los productos de la corrosión.

Algunos tipos comunes en este sistema son:

- a) **Corrosión uniforme:** Debido a los gases y ácidos disueltos en agua. Se manifiesta como una pérdida de metal de modo uniforme y extensa.
- b) **Corrosión por picadura:** Se considera una acción galvánica localizada y acelerada. Es causada por partículas de metal y gases disueltos.
- c) **Corrosión Galvánica:** Se establece una diferencia de potencial anódico – catódico entre dos materiales metálicos diferentes (por ejemplo, entre una placa de latón y un perno de hierro). El metal más electropositivo se disolverá más rápidamente en el agua y funcionará como ánodo (menos noble); siendo el otro metal menos electropositivo, menos soluble y trabajará como cátodo (más noble). En forma análoga, si es uno solo, parte de la zona sumergida en el agua se hará anódica y se corroerá primero.
- d) **Corrosión por pilas de concentración:** Similar a la Galvánica, pero causada por diferencia de pH de un punto a otro del sistema y a concentraciones irregulares de iones y de gases como el Oxígeno. También la presencia de sedimentos en el agua, materias extrañas y burbujas de gases, causan este tipo de corrosión. Este es el caso de las incrustaciones en el metal limpio. Las incrustaciones por óxidos metálicos se hace catódica y el metal actúa como ánodo y se corroerá rápidamente. Otro caso análogo la tenemos en las picaduras que es zona anódica y se corroe, y el metal que rodea la picadura queda protegido como zona catódica.
- e) **Erosión – Corrosión:** Causado por el movimiento rápido del agua que contiene burbujas o materia en suspensión (arena). Esto se debe a horas extensas de funcionamiento, velocidad del agua en flujo turbulento mayor a 3

pie/s, materia en suspensión o burbujas de gases y temperaturas elevadas del agua.

2.2.2 Problemas de Depósitos:

El control de depósitos e incrustaciones en los sistemas de agua de enfriamiento es absolutamente esencial para el mantenimiento de las tasas de transferencia de calor. El sedimento al depositarse en las superficies de intercambio calórico y en todos los equipos conexos a donde llega el agua de enfriamiento, es no solo detectado por su presencia física y visual, sino por que origina una caída gradual del paso del calor, manifestada como una caída en el gradiente de temperatura en el equipo comparado contra el sistema totalmente limpio, lo cual es índice de que el sistema está en problemas causados por los diferentes tipos de sedimentos. Los sedimentos podrían clasificarse como depósitos e incrustaciones, y pueden ser de origen inorgánico y orgánico.

- a) Ensuciamiento (Fouling):** Causado por materiales en suspensión, presentes en el agua. Ellos provienen del agua misma y del aire circundante. Los depósitos resultantes son fofos con consistencia de masas más o menos viscosa - pastosas. Los depósitos son generalmente una mezcla de dos o más compuestos inorgánicos: arcilla, tierra, arena, productos de corrosión, fosfatos, alúminas, etc.; y orgánicos (algas, hongos, bacterias, microalgas) o limos.

- b) Incrustación:** Son causados por sólidos disueltos en el agua recirculante. Siempre son inorgánicas y provienen de sales de calcio, magnesio y de sílice, las que se precipitan formando cristales.
Las incrustaciones más comunes en Torres de Enfriamiento son: Carbonato de Calcio, Sulfato de Calcio, Fosfato de Calcio, Sales de Magnesio, Sílice. Los factores que inciden sobre la incrustación son: Sobresaturación de las

sales inorgánicas incrustables, incremento de la temperatura (por estar en relación directa a la precipitación de sales de Calcio y Magnesio, principalmente), grado de alcalinidad o acidez, concentración excesiva de Hierro y Cobre como sales y óxidos, Sílice y las aleaciones metálicas presentes.

2.2.3 Problemas Microbiológicos

Los depósitos microbianos representan un caso especial de ensuciamiento. Están presentes como crecimientos biológicos (algas oscilatorias: de color verde azulado, hongos) y masas microbiológicas (bacterias, microalgas).

Uno de los sedimentos orgánicos característicos son los limos, que describen a todo sedimento gelatinoso. Los limos microbiológicos, son masas de organismos microscópicos vivos y muertos, y sus residuos de metabolismo. Hay limos vegetales y animales. Ingresan al sistema de enfriamiento por el lado del agua, en el aire a contracorriente, en intestinos de insectos, etc.

Los factores que contribuyen al crecimiento microbiano son: el grado de contaminación microbiana ambiental; los nutrientes que ingresan al sistema como contaminantes (por ejemplo, hidrocarburos, polvillo de molienda de granos de maíz, etc.); ubicación de la torre en cuanto a localización geográfica, por que el crecimiento depende del oxígeno y CO₂; ubicación del sistema en la planta industrial; luz solar o sombra; humedad del ambiente; temperatura (los organismos formadores de limo crecen normalmente entre 4°C y 66°C); pH del agua favorable (de 4 a 9).

Los depósitos microbianos causan problemas de ensuciamiento reteniendo polvo y arena; en aquellas torres construidas de madera, que aun existen en nuestro país, causan la putrefacción y deslignificación de la madera; disminuyen la tasa de transferencia calórica y producen corrosión por microorganismos sulfato reductores que causan severas picaduras; evitan la formación de películas protectoras inducidas con productos químicos anticorrosivos.

2.2.3.1 Ensuciamiento Microbiológico:

Es el recubrimiento en las superficies de intercambio de calor, la formación de lodos y biopelículas en el sistema, los cuales afectarán el funcionamiento térmico, favoreciendo el crecimiento de bacterias. Por lo tanto, se deben tomar las medidas oportunas para evitar un aumento de la suciedad y el deterioro en el interior de la torre de enfriamiento y el resto del sistema.

Para sistemas con agua sucia o donde hay cantidades significativas de suciedad en el aire y desechos transportados dentro del sistema, es necesario la filtración del agua de recirculación. Esto se hace generalmente con una parte del agua de la bandeja de la torre de enfriamiento, que es extraída y filtrada para luego ser devuelta al sistema.

A veces la suciedad y el lodo se pueden controlar con biodispersantes químicos, que ayudan a remover estos lodos para ser eliminados mediante purgas controladas.

2.2.3.2 Corrosión Bacteriana

Desde hace mucho tiempo se conoce el papel que desempeñan las bacterias en los procesos de corrosión metálica.

Los microorganismos constituyen un vasto mundo de seres unicelulares extendidos por toda la biósfera, y desempeñan un importante papel en la naturaleza; gran número de ellos, en el suelo o en el agua, descomponen activamente la materia orgánica y los minerales, participando así en los ciclos naturales del carbono, nitrógeno y azufre.

Durante los procesos biológicos se forman numerosos productos. Hay productos finales de combustión: CO_2 y H_2O , por ejemplo; gases, como Hidrógeno, Nitrógeno y Oxígeno; sustancias, como el Amoniaco, Agua Oxigenada, Azufre, etc., productos ácidos o alcalinos. Todos estos productos se acumulan en el medio, modificando de forma continua su composición.

Ciertas bacterias son capaces de efectuar su síntesis a partir del agua, del anhídrido carbónico (CO_2) y de algunas sales minerales; éstas son las bacterias *autótrofas*. Se consideran como bacterias heterótrofas las especies incapaces de efectuar por sí mismas la síntesis de todos sus factores de crecimiento.

La corrosión microbiana puede definirse como un proceso metabólico bacteriano que origina o acelera la destrucción de los metales.

Los microorganismos influyen sobre los procesos de corrosión a través de mecanismos que les permiten adquirir la energía necesaria para las actividades vitales. Esta energía puede adquirirse a través de tres medios:

- a) Respiración aerobia, que consiste en la eliminación progresiva de hidrógeno de los sustratos orgánicos. El Hidrógeno es oxidado por el Oxígeno del aire.
- b) Respiración anaerobia, en la cual el sustrato orgánico es también oxidado por eliminación de Hidrógeno, y éste reduce los compuestos inorgánicos.
- c) Fermentación, proceso anaerobio en el cual el sustrato orgánico no es completamente oxidado.

Al igual que la corrosión, los procesos metabólicos se basan en la transferencia de iones Hidrógeno o de electrones. La actividad de los microorganismos corresponde a valores de pH del medio que son también muy favorables a la corrosión.

El potencial de oxidación de las bacterias se puede medir, y la intensidad de la oxidación se caracteriza por la pérdida de electrones. No hay dificultad en medir estas ganancias o pérdidas de electrones con la ayuda de un potenciómetro, utilizando un electrodo de platino como *punto cero* y un electrodo de referencia, por ejemplo, uno de calomelanos (mercurio/cloruro mercurioso).

Cuando una sustancia puede ceder electrones a un electrodo inerte y la sustancia oxidada puede recibir electrones de este electrodo, se dice que es una sustancia electroactiva.

Los cultivos microbianos son casi siempre sistemas fuertemente reductores. La actividad metabólica de las bacterias, resultante de su crecimiento y de su nutrición, sólo es posible gracias a la energía suministrada por la oxidación de los elementos nutritivos que ocasionan condiciones de reducción en el medio.

Las bacterias aerobias reducen los medios hasta un cierto nivel, que en general es moderado, aunque en algunos casos se llega a niveles altos. Las anaerobias presentes se aprovechan de estas nuevas condiciones y proliferan a su vez.

Así, los fenómenos de óxido-reducción desempeñan un papel muy importante en los procesos biológicos. Existen sustancias más fácilmente oxidables que otras. Esto puede determinarse midiendo la fuerza electromotriz o la diferencia de potencial generada por la corriente de electrones, obligándolos a pasar por un hilo conductor. Es lo que se conoce como potencial redox del medio. Este potencial se relaciona con el pH, la temperatura y la relación existente entre la concentración de sustancia oxidada y reducida. Las condiciones de oxidación corresponden a un potencial elevado; las de reducción, a una disminución del potencial.

Las bacterias más comunes se desarrollan a potenciales próximos o inferiores a 0 y pH comprendidos entre 6 y 9, zonas favorables a la corrosión. Esto quiere decir que si en un medio donde hay bacterias (que existen en todas partes en la naturaleza) los aportes nutritivos de origen orgánico son suficientes, las bacterias entran rápidamente en actividad, multiplicándose y metabolizando diferentes sustancias. Estos procesos ocasionan de forma automática la disminución del potencial redox, originando las condiciones electroquímicas favorables a la corrosión. Si estas condiciones ya existen, por la naturaleza del medio serán activadas, y si no existen serán el origen de la corrosión.

Los microorganismos no pueden desarrollarse más que en determinadas condiciones de pH. Para cada grupo microbiano existen pH límites y un pH óptimo. En general, los medios neutros convienen a las bacterias heterótrofas que pueblan los medios naturales. Los límites de crecimiento de estas bacterias oscilan entre los pH de 5,5 a 8,5 o 9. Ciertas especies, como el *Thiobacillus*, se cultivan a pH muy bajos, de entre 1,8 y 2.

La corrosión anaerobia se considera posible en valores de pH comprendidos entre 5,5 y 8,5 en cuyo caso el valor del potencial redox permite establecer la siguiente clasificación debida a Starkey y Wright.

➤ **Corrosión Anaerobia:**

Desulfovibrio (Bacterias Sulfatoredutoras), pueden vivir sin presencia de Oxígeno libre pero no pueden proliferarse. Estas se reproducen fundamentalmente en valores de pH comprendidos entre 5,5 y 9,5, mientras que la temperatura óptima de crecimiento es variable según la cepa de que se trate, pudiéndose establecer una banda de temperatura entre los 10 y los 60°C de forma general. Para esta clase de bacterias, puede establecerse que una modificación brusca del pH, la temperatura o la salinidad, frenan el desarrollo mientras que variaciones progresivas permiten su adaptación.

Para comprender la forma en que estos organismos intervienen en los mecanismos de corrosión, debemos recordar los procesos básicos de la corrosión electroquímica. Para que exista corrosión, para que se pueda formar la clásica "herrumbre", constituida por hidróxido férrico, deben estar presentes tres elementos: hierro metálico, humedad y oxígeno.

La corrosión del hierro o el acero en presencia de oxígeno es un proceso electroquímico. El lugar donde el metal sufre la corrosión, donde el hierro pasa del estado metálico al iónico, y después al de solución, se llama ánodo.

La reacción anódica puede escribirse de la manera siguiente:



Los dos electrones liberados en el proceso anódico se desplazan, a través de la masa metálica, al cátodo o zona catódica. En ésta, los dos electrones son captados por los iones H^{+} presentes en la solución (electrolito), que pasan a hidrógeno atómico (H), el cual es liberado como moléculas de hidrógeno gas (H_2). La reacción catódica se puede escribir de la siguiente forma:



Esta simple exposición nos sirve para ilustrar la naturaleza electroquímica de los procesos de corrosión. En el ánodo tienen lugar las reacciones de oxidación o deselextración, mientras que en el cátodo tienen lugar las de reducción o electronación.

En el caso de una pila de corrosión sencilla existe una interacción entre los productos originados por las reacciones anódicas y catódicas. El hidróxido ferroso, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, es un resultado de los iones ferrosos, Fe^{2+} , formados en el ánodo y los iones hidróxilo, OH^{-} , formados en el cátodo; la carga negativa de los iones hidróxilo dará lugar a que estos migren en la solución hacia las áreas anódicas, en las cuales hay un exceso de carga positiva, debido a la presencia de los iones ferrosos formados.

El hidróxido ferroso se forma cuando ambos iones con carga opuesta se encuentran, reaccionan y se precipita el correspondiente hidróxido. La reacción es la siguiente:



Este hidróxido ferroso se oxida a hidróxido férrico, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, la conocida herrumbre, por el oxígeno disuelto en el agua (electrolito): ver fig. N°3

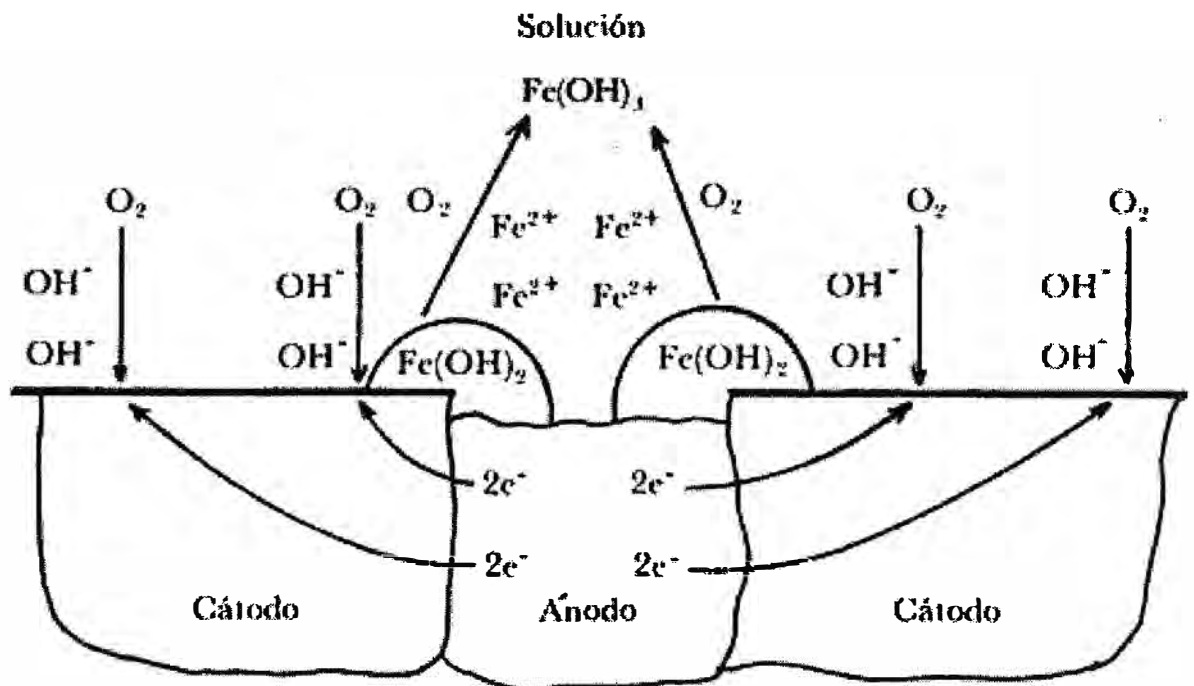
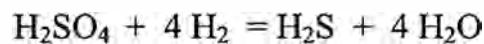


Figura N°3

Diagrama que muestra la formación de hidróxido ferroso e hidróxido férrico (herrumbre) por el proceso de corrosión.

Aunque el desulfobibrio causa la corrosión del hierro y del acero en ausencia de aire, queda patente, con lo indicado anteriormente, que el oxígeno es necesario en los procesos electroquímicos de corrosión, en los cuales se produce el hidróxido ferroso y el hidróxido férrico como productos resultantes.

El metabolismo de la bacteria desulfobibrio, está basado en la reacción de reducción de sulfatos:



Determinadas sustancias orgánicas tales como alcoholes, las proteínas o los hidrocarburos, dan lugar a la producción de Hidrógeno. Este Hidrógeno reduce los sulfatos a sulfuros con formación de Ácido Sulfúrico que ataca al metal.

Los efectos corrosivos de estas bacterias dan lugar a un incremento de los fenómenos de corrosión electroquímica al consumir el Hidrógeno formado, y por corrosión debida al Sulfuro de Hidrógeno. En esencia este tipo de ataque es una corrosión por picadura.

En el caso de circuitos de refrigeración que contienen Oxígeno disuelto, para que puedan subsistir estas bacterias que se ven obligadas a crecer en medios aeróbicos, se refugian en los depósitos de Óxido de Hierro (herrumbre) y de Sulfuro de Hierro.

Reacciones:

- $8 \text{H}_2\text{O} = 8 \text{OH}^- + 8 \text{H}^+$
- $4 \text{Fe} = 4 \text{Fe}^{+2} + 2 \text{e}^-$ (ánodo)
- $8 \text{H}^+ + 8 \text{e}^- = 8 \text{H}$ (cátodo)
- $\text{SO}_4^{-2} + 8 \text{H}$ (bacterias) = $\text{S}^{-2} + 4 \text{H}_2\text{O}$ (Despolarización catódica)
- $\text{Fe}^{+2} + \text{S}^{-2} = \text{SFe}$ (ánodo)
- $3 \text{Fe}^{+2} + 6 \text{OH}^- = 3 \text{Fe}(\text{OH})_2$ (cátodo)

Reacción global: $4 \text{Fe} + \text{SO}_4^{2-} + 4 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{FeS} + 3\text{Fe}(\text{OH})_2 + 2 \text{OH}^-$

➤ **Corrosión Aerobia**

Al igual que las bacterias anaerobias, las aerobias pueden ser también el origen de fuerte corrosión. Por un lado, ocasionan la formación de Ácido Sulfúrico, y por otro, forman sobre el metal precipitados que, al quedar adheridos en forma aislada, originan procesos de aireación diferencial, y por lo tanto, de formación de picaduras.

Estas bacterias están representadas por las bacterias ferruginosas y los Thiobacillus.

➤ **Bacterias ferruginosas:** Estas bacterias están muy extendidas en la naturaleza; se las encuentra, a veces, en gran abundancia en aguas que contienen sales ferrosas disueltas. Van siempre asociadas a depósitos de Hidróxido Férrico.

Existen dos tipos de bacterias ferruginosas: las unicelulares y las pluricelulares. Las verdaderas bacterias ferruginosas son aerobias y, en principio, autótrofas. Se caracterizan por acumular Hidróxido Férrico alrededor de sus células, lo que origina que en sus proximidades aparezcan zonas manchadas con el conocido color de la herrumbre. La más conocida es la Gallionella. La clásica reacción de su metabolismo es la siguiente:



Estas bacterias son el origen de la formación de incrustaciones sobre la superficie metálica, y por lo tanto, de procesos de aireación diferencial que desembocan en la formación de picaduras.

➤ **Bacterias Thiobacillaceae:** son aerobias autótrofas, y se caracterizan por crear en el medio donde se multiplican una reacción fuertemente ácida. Su pH óptimo de crecimiento se sitúa entre 3 y 4, y se pueden incluso cultivar a **pH 0,2-0,6**.

Todos los metales susceptibles al ataque por Ácido Sulfúrico diluido (10%) sufrirán una fuerte corrosión en presencia de estas bacterias. Estas bacterias son el origen de formación de **pH** muy bajos, concretamente de formación de **H₂SO₄**. En suelos que contengan sulfuros (piritas) pueden ocasionar fuertes corrosiones en cualquier estructura que pueda estar bajo sus efectos. Los representantes más conocidos de este grupo son: *Thiobacillus thiooxidans*, *Thiobacillus thioparus*, *Thiobacillus denitrificans*, *Thiobacillus ferrooxydans*, etcétera.

Por último, cabe señalar que el medio marino, de pH próximos a 7,5-8; es siempre favorable al crecimiento microbiano. Desde el momento en que las partículas cargadas de microbios se depositan en la superficie de los metales para constituir la película microbiana (lo cual puede suceder en pocas horas), las bacterias entran en actividad y provocan la disminución del potencial redox. Las condiciones de corrosión se realizan *in situ* y el deterioro del metal aparece en unos días.

A modo de conclusión de todo lo anterior, es importante señalar que si no existen las condiciones para que haya corrosión en un determinado medio, las bacterias pueden crearlas, a condición (para las heterótrofas) de que exista en el medio materia orgánica. Cuanto mayor sea la cantidad de materia orgánica contenida en un electrolito, mayores serán los gérmenes y mayor y más intensa la actividad bioquímica, y por lo tanto, la corrosión.

2.2.3.3 Legionella: Riesgo a la Salud

La **Legionelosis** es un término genérico que se utiliza para referirse a la enfermedad que causa la bacteria *Legionella pneumophilla* y otras del mismo género. Se presenta fundamentalmente en dos formas clínicas perfectamente diferenciadas:

- Neumonía que se conoce como Enfermedad del Legionario,
- Cuadro de tipo gripal y carácter leve que se denomina Fiebre de Pontiac.

La primera descripción de una neumonía epidémica por *Legionella pneumophila* fue descrita en 1977 en una convención de la Legión Americana, que es una asociación tipo ONG, muy al uso Americano. Se produjo en Filadelfia en un hotel. La enfermedad se produce con un periodo de incubación de 2 a 10 días, aparece como un cuadro gripal de fiebre malestar dolores musculares, tos, dificultad para respirar, puede asociarse a vómitos diarreas, nauseas, y dolor abdominal. La fiebre de Pontiac está producida por la misma bacteria pero sin afectación pulmonar.

Desde su identificación inicial el 1977, se han descrito numerosos casos de la enfermedad del legionario en Canadá, EE.UU., Francia, Italia y España, entre otros países.

Un 15% de los casos puede llegar a ser mortal, y este porcentaje en una neumonía bacteriana en los años 2000 es muy elevado.

Definición de la Legionella:

La *Legionella pneumophila* es el agente causal de la legionelosis. Es una bacteria como neumococo que causa la neumonía normal o el estafilococo que produce el acné. Esta bacteria se halla ampliamente extendida en ambientes acuáticos naturales (ríos, lagos, aguas termales, etc.), encontrándose en ellos en pequeñas concentraciones, pudiendo sobrevivir en condiciones ambientales muy diversas. Para que su concentración aumente, entrañando riesgo para las personas, debe pasar a colonizar, fundamentalmente a través de las redes de distribución de agua potable, sistemas hídricos construidos por el hombre, como torres de enfriamiento y sistemas de distribución de agua sanitaria, donde encuentra condiciones de temperatura idóneas para su multiplicación (25-45°C), protección física y nutrientes apropiados.

TRANSMISIÓN

La **legionelosis** se transmite por vía aérea. Es necesario inhalar el germen que el aire transporta dentro de muy pequeñas gotas de agua. Estas gotas provienen de los aerosoles (agua pulverizada) que emiten las torres de refrigeración, humectadores y aparatos de enfriamiento evaporativo, cuando el agua que contienen está contaminada por la Legionella.

En el caso de las torres de refrigeración, los aerosoles son lanzados al exterior, con la corriente de aire caliente que sale de aquéllas, y una vez en el exterior, cuando cesa el impulso con que fueron emitidas, las gotas de agua más pequeñas serán transportadas por el viento a mayor o menor distancia, dependiendo de las condiciones meteorológicas existentes en ese momento y de la ubicación de la torre, pudiendo ser transportadas fácilmente varios cientos de metros.

A partir de estas instalaciones la Legionella puede infectar a las personas si el agua es pulverizada en forma de aerosoles de manera que la bacteria pueda ser transportada por el aire en pequeñas gotas e inhalada por las personas. Es decir, la vía de transmisión de la Legionella es aérea y no se ha demostrado que exista riesgo alguno de enfermar al beber agua contaminada por Legionella.

En consecuencia, serán instalaciones de riesgo en relación con la Legionella, todas aquéllas que procurando condiciones de anidamiento adecuado para ésta, fundamentalmente agua estancada o retenida a temperatura de 25-45°C y especialmente en presencia de suciedad, produzcan aerosoles que puedan ser inhalados por las personas. Por ello se recomienda hacer controles en las torres de enfriamiento, condensadores evaporativos, aparatos de enfriamiento evaporativo, humectadores, sistemas de distribución de agua caliente sanitaria, baños de burbujas, etc.

LUGARES EN QUE SE ENCUENTRA:

- En general, en las gotas de agua a una temperatura entre 20 y 40 °C
- Torres de enfriamiento en edificios para el aire acondicionado.
- Sistemas de humidificación, comercial y doméstico.
- Conducciones de agua caliente.
- Fuentes públicas
- Otros sistemas de circulación de agua caliente-templada.

En resumen, los factores primordiales a tener en cuenta que favorecen la multiplicación de la Legionella en el agua de las torres de enfriamiento son los siguientes:

- **ALTAS TEMPERATURAS**, especialmente en los meses de verano.
- **SUCIEDAD**, que puede propiciar la presencia de otros microorganismos (bacterias y protozoos) que favorecen la multiplicación de la Legionella y de sus nutrientes apropiados.
- **MATERIALES INADECUADOS**, como madera, y en general materiales a base de celulosa.
- **CORROSIÓN E INCRUSTACIONES**, debidas a un mantenimiento incorrecto de la instalación y que contribuyen a la multiplicación de la Legionella a través del aporte de nutrientes (hierro, fosfatos, etc.) y favoreciendo la concentración de la bacteria, con lo que disminuye la eficacia de las tareas de limpieza y desinfección.

PREVENCION:

- Se comprende así la importancia de que las torres de enfriamiento deben estar ubicadas en lugares estratégicos, es decir, lo más lejos posible de lugares frecuentados por las personas, de manera que las gotas de agua, que podrían alojar a estas bacterias, se depositen en el suelo o se evaporen (muriendo entonces las bacterias) antes de llegar a ser inhaladas por las personas, o bien los aerosoles sean dispersados por el viento lo máximo posible, de modo que la cantidad de bacterias que pudieran existir en el aire inhalado fuera mínima y no entrañe riesgos para la salud.
- Implantación y ejecución de un programa de mantenimiento preventivo de los sistemas de torres de enfriamiento, lavado y esterilizado de los depósitos de agua 2 veces por año.

- Puesta en práctica y aplicación de un programa apropiado de tratamiento de agua para mantener la calidad de esta agua dentro de los parámetros de control.
- Supervisión apropiada y registro de las operaciones del sistema y de la calidad del agua de recirculación.

2.3 Tratamiento Químico de Agua en Torres de Enfriamiento

2.3.1 Control de la Corrosión

La corrosión en los sistemas de enfriamiento de recirculación abierta, se controla mediante el uso de inhibidores que retardan el proceso corrosivo. Estos inhibidores trabajan de la siguiente forma:

Por adsorción de la superficie metálica: Se fijan formando grupos complejos con el Hierro; tal como el Tolitriazol (TTA), Mercapa Benzotriazol de Sodio (MBT), Diamino propileno (TPDA), Tanino.

Inhibidores Anódicos: Forman una fina capa pasivante de óxido férrico inhibiendo la superficie metálica, como: Zinc, CaCO_3 / Nitrito, Ortofosfato, AMP/HEDP, Cromatos, Silicatos.

Inhibidores Catódicos: Forman capas polarizadas muy espesas de hidróxidos e inhiben las superficies metálicas, como: Molibdeno, Polifosfatos, Ácido Acético Oxifosforoso.

2.3.2 Control de las Incrustaciones

Aunque es conveniente tener una cierta cantidad de Carbonato de Calcio en el agua del sistema para pasivar las superficies metálicas. Se utilizan polímeros químicos que se forman con diferentes grupos funcionales en la cadena

molecular, de tal manera que cada grupo tiene un efecto diferente. Estos mecanismos pueden ser:

- a) Inhibición Visual (Subestequiométrica).
- b) Distorsión Cristalina (Interferencia estructural).
- c) Dispersión (Repulsión de la carga).
- d) Secuestrante (Quelación)
- e) Desalcalinación (como el H_2SO_4)
- f) Detergentes (Surfactantes)
- g) Acción Polieléctrica (Coagulación / Floculación).

La mayoría de estos polímeros presentan más de un efecto, por ejemplo: los Silicatos y Polifosfatos también son inhibidores de corrosión.

Los mecanismos más usados son:

Químicos de Umbrales: Absorben en cantidades subestequiométricas.

Dispersantes: Absorben partículas repelidas por cargas óptimas.

Distorsión Cristalina: los polímeros están incluidos dentro del cristal. Incrementan la solubilidad y evitan una estructura cristalina uniforme.

Índice de Solubilidad: Para controlar las incrustaciones de forma eficaz, deberemos utilizar varios índices de solubilidad, por ejemplo el índice de Langelier para el Carbonato de Calcio, para asegurar que el sistema de enfriamiento funcione a un nivel de pH y a unos ciclos de concentración que permitan un tratamiento del agua de enfriamiento eficaz con la tecnología aplicada.

2.3.3 Control Microbiológico

En el tratamiento se requiere matar a los microorganismos y luego retirarlos, lo que lleva al uso de agente químicos con efectos biocida y biostático. La limpieza

sistemática, la desinfección de la planta, eliminación de áreas inoperantes y el uso apropiado del agente biocida, permite realizar un tratamiento correcto.

Los agentes de control biológico se adicionan al medio acuoso en dos formas:

- Dosis masivas (Shock) inicial de impacto, en altas concentraciones para que actúe como biocida.
- Dosis menor de mantenimiento, con bajas concentraciones que inhiban el crecimiento microbiano y otros, realizando un efecto biostático.

Algunos productos se adicionan en forma continua y otros en forma intermitente. La forma depende de los equipos disponibles, la forma del agente y el remanente del mismo.

De acuerdo con la acción sobre la materia viva, se pueden clasificar en: agentes oxidantes (Cloro, Bromo) y agentes no oxidantes (Paraclorofenol, Isotiazolin).

Las algas crecen en lugares soleados, los hongos en medio húmedo y oscuro, y las bacterias en todos los ambientes con aire o sin él.

Hay que tomar en cuenta y evitar la defensa e inmunidad que las colonias microbianas desarrollan con relación a un determinado producto químico, en la misma forma que las plagas agrícolas se inmunizan en relación con los insecticidas. La resistencia biológica se obvia cambiando el tipo de tratamiento y el agente, de otro modo se requerirán dosis cada vez mayores para lograr el mismo resultado.

2.3.3.1 Tipos de Biocidas

Para conseguir un programa de control microbiológico efectivo, se debe tomar en consideración los parámetros físicos del sistema, como por ejemplo el volumen, el nivel de purga, los productos químicos aplicados al agua de

recirculación, los contaminantes no biológicos y los tipos de infección microbiológica. Los biocidas seleccionados deben ser eficaces a la población que sea nuestro objetivo, a la vez que deberán tener homologación adecuada para ser utilizados en una aplicación determinada y (si procede) para el vertido del sistema. Los niveles de aplicación de biocidas y la frecuencia del tratamiento depende en parte de las características operativas del sistema, y también del nivel de ensuciamiento microbiológico.

Los productos químicos usados en tratamiento de agua pueden clasificarse en dos categorías: Biocidas oxidantes y no oxidantes.

2.3.3.2 Biocidas Oxidantes: Oxidan irreversiblemente proteínas provocando pérdida de la actividad enzimática, hidrólisis de los constituyentes orgánicos y consecuentemente la rápida muerte de la célula. Es decir, interfieren con la síntesis de la proteína en las células, resultando la muerte de los microorganismos. Los biocidas oxidantes que se utilizan normalmente para el agua de enfriamiento son el Cloro (Cloro gas, Hipoclorito de Sodio o Dióxido de Cloro) o el Bromo (productos sólidos generadores de halógeno o Bromuro Sódico líquido activado con Cloro). El Bromo es más eficaz que el Cloro, para sistemas difíciles de controlar como pueden ser las aguas de enfriamiento con gran contaminación (contienen amoníaco) o alcalinas.

La acción de los biocidas oxidantes sobre la biopelícula es únicamente sobre la superficie, manteniendo el interior de esta masa microbiológicamente activa. El uso de oxidantes conjuntamente con tensoactivos biodispersantes incrementa su efectividad substancialmente a un costo relativamente bajo.

2.3.3.3 Biocidas no Oxidantes: usan diferentes mecanismos en su acción biocida. Su acción generalmente es un envenenamiento lento de las células, alterando su metabolismo de alguna forma. Son generalmente moléculas orgánicas que controlan los microorganismos alterando su estructura específica

o interfiriendo en los procesos microbiológicos esenciales. Estos biocidas son esencialmente críticos en sistemas:

- Que en el pasado han sufrido contaminación del agua de enfriamiento por pérdidas del proceso.
- Que utilizan relleno de las torres de alta eficacia tipo película.
- Que sufren interrupciones frecuentes para la dosificación de biocida oxidante.

En sistemas que son propensos al ensuciamiento biológico, la utilización de biocidas no oxidantes puede ayudar a reducir los niveles de dosificación de halógenos, reduciendo así la corrosión asociada a altos niveles de biocidas oxidantes.

Tipos de Biocidas No oxidantes:

◆ **Glutaraldehido:** este compuesto ha demostrado efectividad frente a bacterias tanto aerobias como anaerobias. Su efectividad está limitada frente a algas y hongos. Su acción biocida se basa en su capacidad de enlazar proteínas y por ello no debe utilizarse en sistemas que tengan contaminaciones de amonio.

◆ **Isotiazolonas:** usualmente disponible como una mezcla de dos o más isotiazolonas, se utilizan como biocida de amplio espectro. Son efectivas a concentraciones muy bajas y en un amplio rango de pHs. Puede controlar bacterias aerobias y anaerobias (incluidas las sulfatoredutoras) así como hongos y algas. Su actividad es solo ligeramente afectada por la presencia de dureza, amonio, cloruros o sólidos en suspensión y además no tienen interacciones con los materiales habituales de construcción de los sistemas.

◆ **Compuestos Organo-Azufrados:** Generalmente se utilizan como fungicidas y/o bactericidas. Los más utilizados incluyen los carbamatos, las sulfonas y las tionas. Aunque sus mecanismos de actuación son similares, los rangos de actividad varían en función de pH del agua. Casi todos ellos no son

biocidas rápidos, necesitan tiempos de contacto intermedios(entre 4 y 9 horas) aunque existe alguna excepción como el metilbistiocianato. Pueden tener alguna interacción con los materiales de construcción, especialmente los carbamatos pueden acelerar procesos de corrosión en el cobre. .

◆ **Sales de Amonio Cuaternario:** Son compuestos de nitrógeno catiónicos y con actividad sobre la tensión superficial del agua. Son generalmente efectivos para controlar algas y bacterias a pH neutro o ligeramente alcalino aunque su efectividad frente a los hongos es muy baja. Su actividad bactericida / bacteriostática es debida a la carga catiónica que forma un enlace electrostático con la membrana celular de los microorganismos. Finalmente, se produce la distorsión de la permeabilidad de la membrana celular, una desnaturalización de las proteínas y la muerte de la célula. Debido a su elevado carácter catiónico los hace incompatibles con gran número de tratamientos (antincrustantes, anticorrosivos).

2.3.3.4 Biodispersantes: Formulación química para humedecer y penetrar en espumas biológicas, para que los biocidas y los desinfectantes puedan trabajar más eficientemente.

2.4 Biocidas Bromados

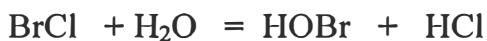
El uso de biocidas bromados constituye una alternativa en el control microbiológico en aguas de enfriamiento con alta carga orgánica. Están basados en la generación de Ácido Hipobromoso, el cual es un biocida efectivo en un rango de pH mas amplio que el Ácido Hipocloroso. Especialmente interesante en aguas de refrigeración por el hecho de ser más efectivo que el Cloro por encima de pH 8. Otra de las ventajas es ambientalmente más aceptable que el Cloro.

2.4.1 Química del Bromo

La forma química del compuesto bromado (sólido) es tal que su hidrólisis en agua genera ácidos débiles (Ácido Hipobromoso, HOBr). Este ácido es un potente agente oxidante que combinados con el protoplasma de los microorganismos forma una placa estable nitrógeno-halógeno con la proteína del microorganismo. La formación de estas placas interrumpe el proceso metabólico, por lo que se constituye en un tóxico para la vida de los microorganismos.

2.4.2 Tipos de Biocidas Bromados:

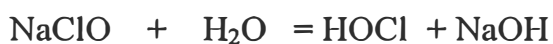
1. **Gas Bromo:** La generación de HOBr puede ser efectuada a través de la hidrólisis del gas Bromo (Br_2) o Cloruro de Bromo líquido (BrCl) como en la reacción de abajo. Este tipo de generación de HOBr requiere el uso de grandes cilindros de gas y equipamiento similar al usado en el Cloro gas. Esto es utilizable para grandes sistemas de enfriamiento de procesos industriales.



2. **Bromuro de Sodio:** La generación de HOBr puede ser también efectiva por la activación de Bromuro de Sodio mezclándose rápidamente con gas Cloro, o el más usado Hipoclorito de Sodio. Este método es ampliamente usado en general en sistemas de enfriamiento industriales (como en la pasteurización en la industria cervecera, donde se proporciona una alternativa para el químico BCDMH), químicamente al 40% es usado el Bromuro de Sodio, que es mezclado con un blanqueador.

Un punto de inicio para la reacción, para alcanzar igual proporción molar, requiere la mezcla de estos dos químicos en la proporción de NaBr solución : NaOCl solución blanqueadora = 1 : 2,3; esencialmente en dos pasos de reacción :

Primer Paso:



En la práctica tal proporción requerida puede ser diferente con respecto a la teórica, como casi siempre se adiciona blanqueador para proporcionar HOCl, debido a que el lodo de algas y otras formas requieren más demanda de Cloro. Esto es necesario para tener una fuente disponible de oxidante, para efectuar la generación de Ácido Hipobromoso, sin embargo no todo el Bromo generado es disponible, también se pierde en la reacción biocida o por limitada volatilidad. Esto es un factor a considerar.

Los sistemas de dosificación son dispuestos de modo que dosifican durante los días, semanas, utilizando dos bombas, para añadir el volumen requerido de cada uno de los químicos, dentro de un tanque mezclador. El contenido del tanque es agitado, produciéndose HOBr, y el contenido del tanque es bombeado para el sistema de enfriamiento de agua. Se puede incorporar equipos controladores de Bromo y de dosificación.

En Europa existen equipos sofisticados y computarizados utilizando HOBr, por general son comercializados por las mejores compañías para el control de la Legionella. Estos sistemas son caros y operan en grandes edificios y sistemas de enfriamiento.

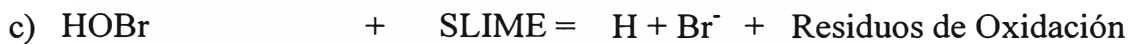
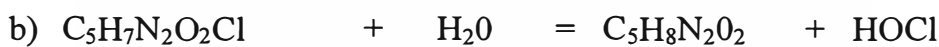
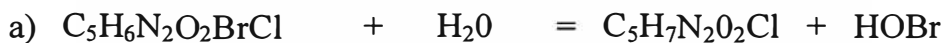
3. Derivados de Hydantoin: El método mas común de generación de HOBr por estos días, es probablemente por disolución de varios tipos y tamaños de derivados Hydantoin en gránulos y pastillas. Las pastillas especialmente son las más utilizadas, a pesar que su costo es mayor en 20% a los gránulos.

El principal químico empleado es 1-Bromo, 3-Cloro, 5,5-Dimetilhydantion (BCDMH).

La pastilla más popular de Bromo es de tamaño 3", varias formas, tamaños y diseños de Bromoalimentador son disponibles, para permitir la lenta liberación de HOBr.

Se produce la hidrólisis de BCDMH para rápidamente proporcionar HOBr, y después más lentamente proporciona HOCl, como el HOBr es consumido durante el proceso de desinfección, algunos iones Bromuro son liberados, los cuales son oxidados a HOBr.

Reacciones:



El BCDMH y sus derivados son comúnmente empleados en un amplio rango de sistemas de enfriamiento y otras aplicaciones.

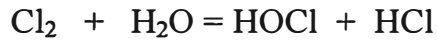
La alimentación del producto es realizado con el BROMINADOR, en la línea de alimentación del agua de reposición, el material utilizado en este equipo es acero inoxidable.

2.4.3 Efectividad con respecto a los biocidas Clorados:

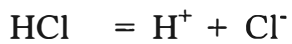
El Cloro es el biocida más comúnmente empleado. Su dosificación se suele hacer en forma de Cloro gas, o como producto líquido o sólidos que lo liberan, tales como el Hipoclorito Sódico o el Hipoclorito Cálcico. Actúa sobre todos los microorganismos siempre que el Cloro libre permanezca en contacto con ellos.

- Su acción biocida varía en función del pH del agua y del contenido en materia orgánica, su bajo costo hace que sea un producto de amplia utilización con dosificación intermitente.

El Cloro al mezclarse con el agua se hidroliza produciendo Ácido Clorhídrico y Ácido Hipocloroso. La disociación del Ácido Hipocloroso depende del pH, a valores menores de 7, la reacción tiende a generar Ácido Hipocloroso (HOCl), y a pH mayores tiende a generar Hipocloritos (OCl⁻).



Estos productos se disocian fácilmente en:



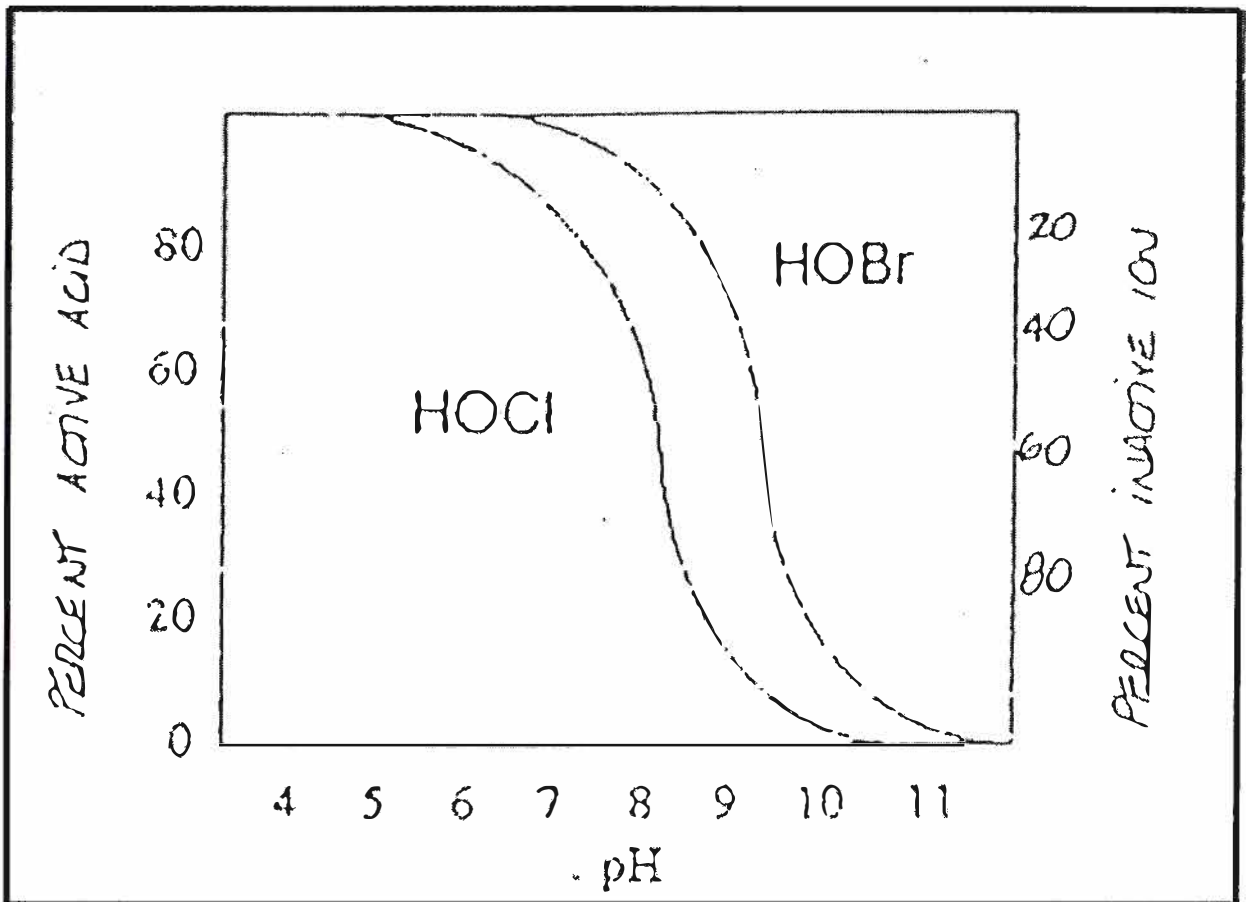
La efectividad estimada del ión Hipoclorito es 1/100 de la efectividad del Ácido Hipocloroso. De esta manera, a un pH=6 se necesitan 0.005 ppm de Cloro (HOCl) para obtener la misma acción biocida que con 0.5 ppm de Cloro a un pH=10 (OCl⁻).

- Efectividad con respecto al pH de los compuestos Clorados y los Bromados:
Cantidad no disociada de ácido hipocloroso e hipobromoso en el agua de enfriamiento, a diferentes niveles de pH (ver fig.Nº4).

pH	%HOCl	%HOBr
6.5	95	100
7.0	90	100
7.5	50	94
8.0	24	83
8.5	9	60
9.0	3	33
9.5	0	11

CURVAS DE DISOCIACION DE LOS ACIDOS HIPOCLOROSO E HIPOBROMOSO

Figura N°4



- Los compuestos Clorados con respecto a los Bromados contribuyen más a la corrosión de los metales, ya que funcionan como desinfectantes a pH más bajos de 6 y a esos valores no es conveniente aplicar Cloro por el gran potencial corrosivo que tendría el agua circulante.

- La materia orgánica contenida en el agua genera niveles de Amonio / Nitrógeno. Es importante considerar el efecto de estas sustancias en la actividad del biocida. Las Haloaminas son rápidamente formadas, cuando el agente activo del biocida, ácido Hipohalogenado (HOBr), entra en contacto con los compuestos Nitrogenados (NH_3) contenidos en el agua de enfriamiento. Cuando se usan compuestos Clorados se forman Cloraminas, en este caso al pH (7,5) al cual se encuentra el agua de la torre la monocloroamina predomina. La actividad biocida de la Monocloroamina es 8 veces menor que la del Cloro libre. Esto explica porque en un sistema con alta carga orgánica los compuestos Clorados no son efectivos biocidas. En resumen, se necesita mantener menor cantidad de biocida Bromado comparado con los Clorados para un mejor control y desinfección microbiológica.

Las mono y dicloroaminas que se forman, cuando se usan compuestos bromados, son efectivos agentes biocidas. Estas Bromoaminas muestran una propiedad desinfectante comparable al Bromo libre. En resumen, se necesita mantener menor cantidad del compuesto Bromado con respecto a los compuestos Clorados para un mejor control microbiológico. Las figuras siguientes (Ver fig.Nº5 y Nº6), muestran el porcentaje de reducción bacteriana. La química del Bromo muestra una disminución de cuatro órdenes de magnitud menos con respecto a los Clorados. Estos resultados tienen particular significado en aplicaciones donde se requiere una desinfección eficaz, incluyendo agua industrial de enfriamiento en sistemas abiertos.

Figura N°5

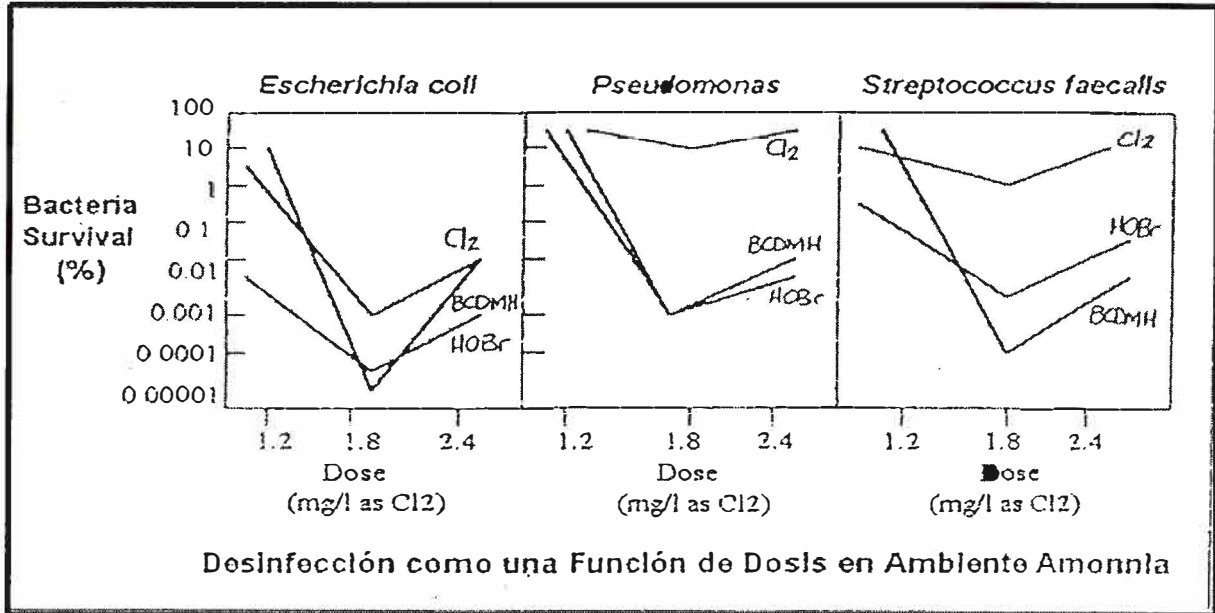
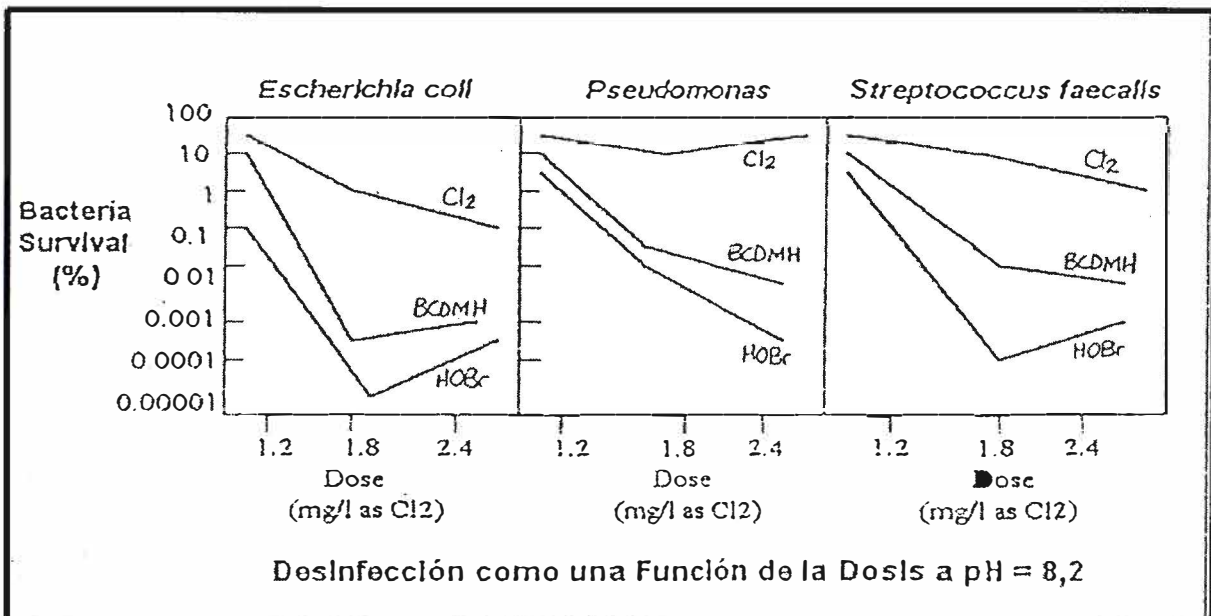


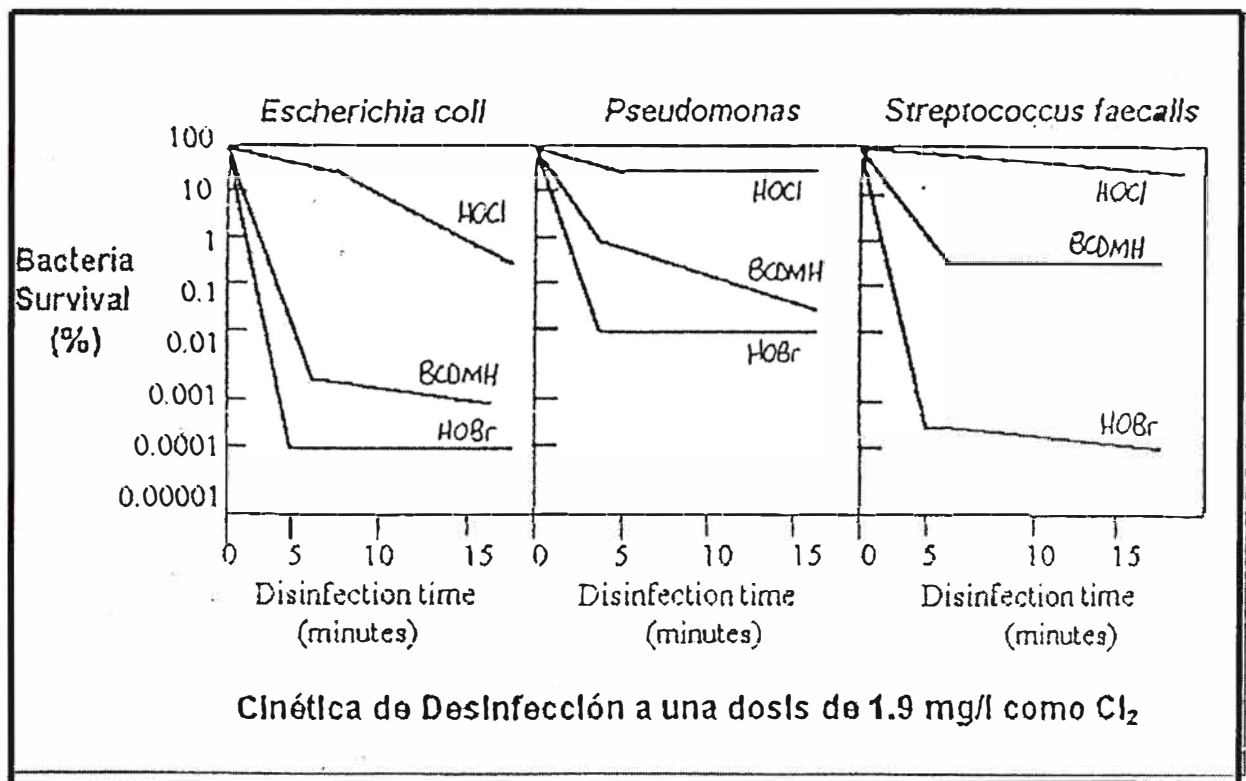
Figura N°6



2.4.4 Cinética

La cinética de los métodos de desinfección, usando compuestos Halogenados es un factor importante. La cinética de desinfección usando la química de los compuestos Bromados (según la figura) indica que se necesita menor tiempo de contacto con respecto a los Clorados. Estos resultados tienen un particular significado donde se requiere una desinfección rápida (Ver fig.Nº7).

Figura Nº7



2.4.5 Problemas Producidos por el uso de este tipo de biocidas

- a) Como el Bromo es un biocida oxidante, es conveniente realizar análisis de Hierro (producto de corrosión) o determinar la velocidad de corrosión mensualmente, con la finalidad de prevenir estos problemas.
- b) Se debe mantener en el sistema los residuales óptimos, la medición de este residual se realiza por medio de la prueba del Bromo (el Método de DPD). El rango de control es de 0,1-0,3 ppm como Bromo libre.
- c) El Bromo líquido es sumamente corrosivo y muy peligroso, destructivo de los tejidos orgánicos. El Bromo es el único elemento no metálico que está líquido a temperatura ambiente, y su riesgo de seguridad previno su uso durante muchos años. El desarrollo de BCDHM, que es un producto seco, superó los problemas para la utilización de la química del Bromo. Se debe utilizar un equipo adecuado como parte de un sistema de dosificación, que se conoce como Brominador, que garantiza el adecuado manejo del biocida y su control.
- d) Estos biocidas no tienen la clasificación de USDA, pero pueden usarse en plantas inspeccionadas por la USDA, así como también en sistemas secundarios de enfriamiento donde el agua es usada para enfriar gases o líquidos los cuales no están en contactos con alimentos.

3. DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Caso Estudio

Aplicación del biocida Bromado en un sistema de enfriamiento crítico, es decir, que presenta gran cantidad de microorganismos.

3.1.1 Problemática Actual

Esta empresa dentro de sus procesos cuenta con un sistema de enfriamiento abierto, una torre de enfriamiento Marley. El agua fría obtenida se utiliza para enfriar chaquetas de compresores. El agua de reposición utilizada es blanda, el sistema presentaba una gran contaminación microbiológica que fácilmente se observaba en la poza y relleno de la torre, produciéndose problemas en la transferencia de calor en los compresores (Ver fig. N°8, N°9, N°10 y N°11 referente a la situación del sistema).

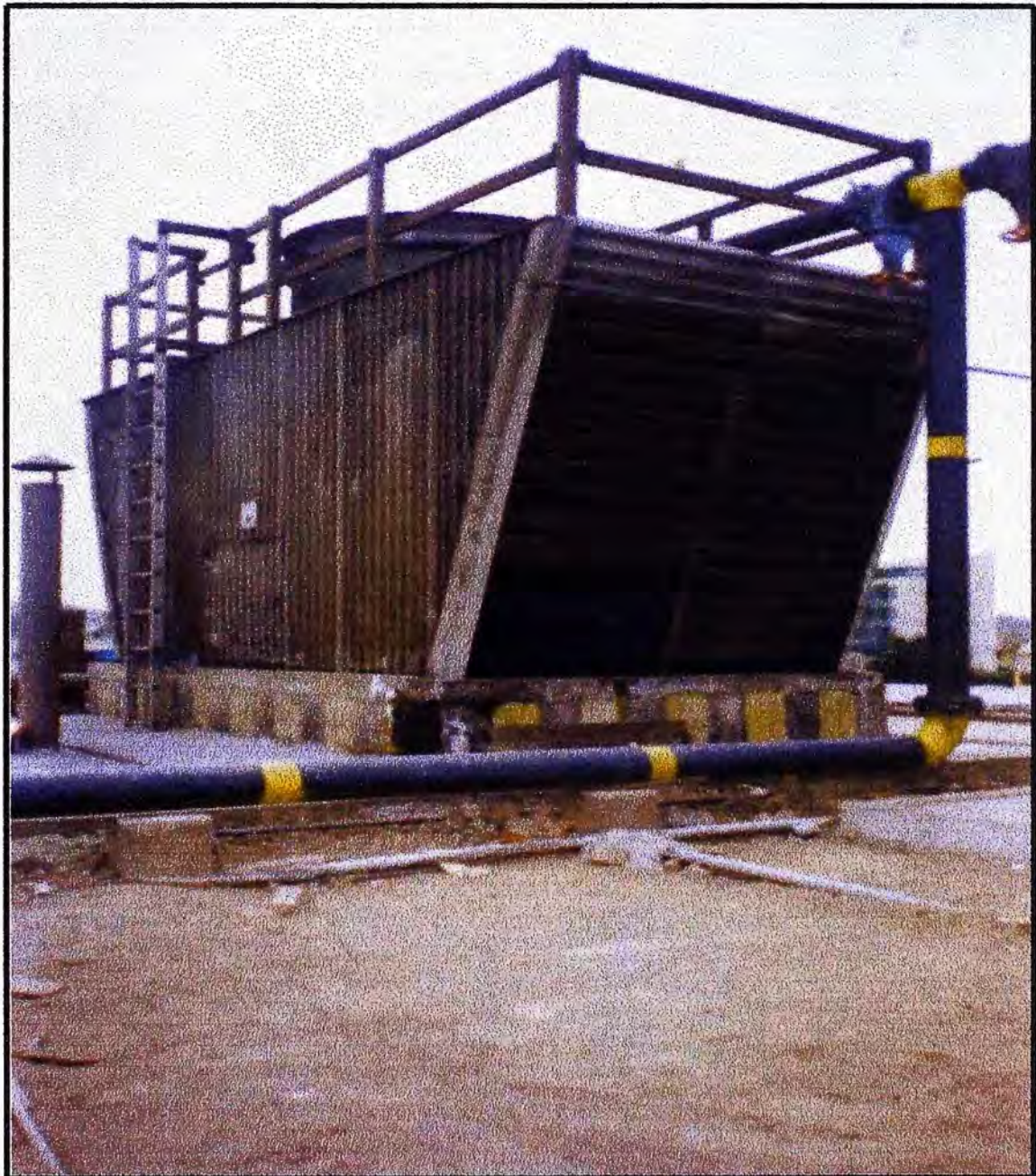
Esta empresa, debido al volumen del sistema y al gran costo que significaba aplicar un tratamiento químico microbiológico, realizaba limpiezas mecánicas anuales y también una desinfección del sistema utilizando Hipoclorito de Sodio.

Con la finalidad de mantener en óptimas condiciones su sistema y evitar las paradas de planta, se propuso aplicar un tratamiento químico microbiológico teniendo en cuenta:

- El problema microbiológico que presentaba el sistema (presencia de algas y bacterias).
- Por la capacidad del sistema, búsqueda de un biocida efectivo y económico con respecto a otros biocidas, de acuerdo a la tabla siguiente.

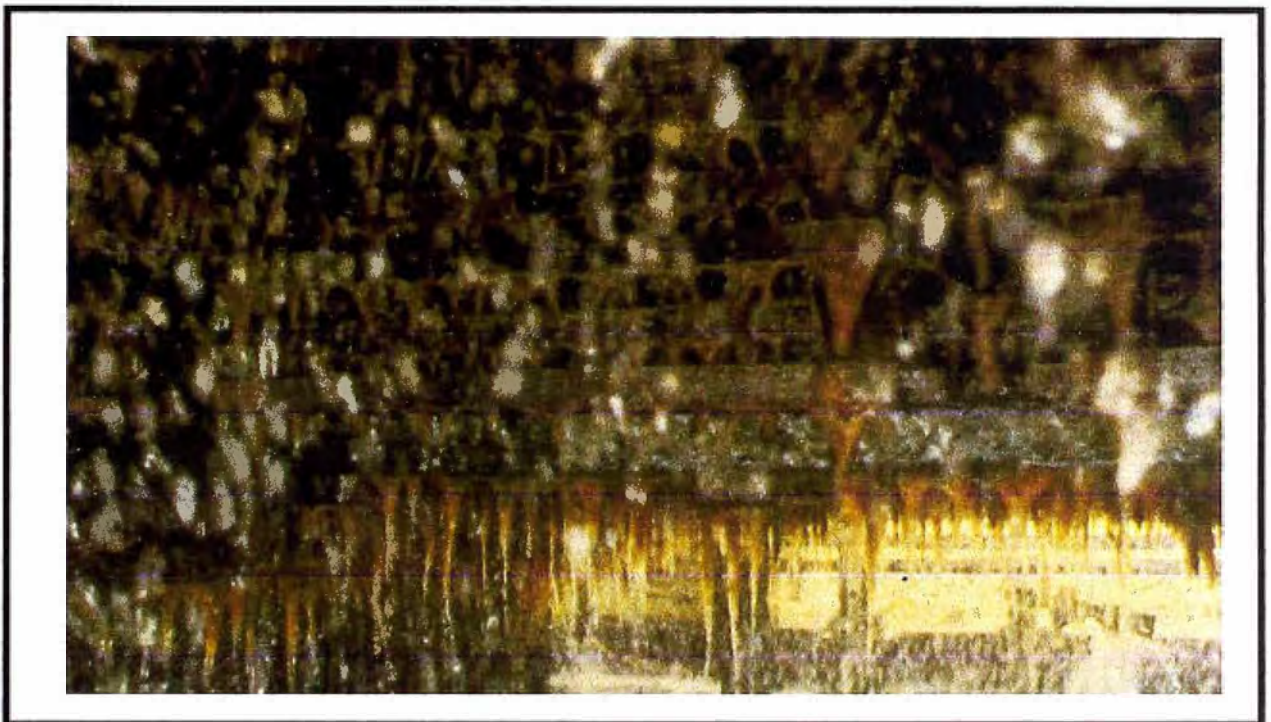
TORRE DE ENFRIAMIENTO DEL CASO ESTUDIO

Figura N°8



VISUALIZACION DEL ENSUCIAMIENTO MICROBIOLÓGICO

Figura N°9: Relleno de la Torre



VISUALIZACION DEL ENSUCIAMIENTO MICROBIOLÓGICO

Figura N°10 : Poza de la Torre



DOSIFICACIÓN DE PRODUCTOS QUIMICOS Y CONTROL DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ABIERTO

Figura N°11

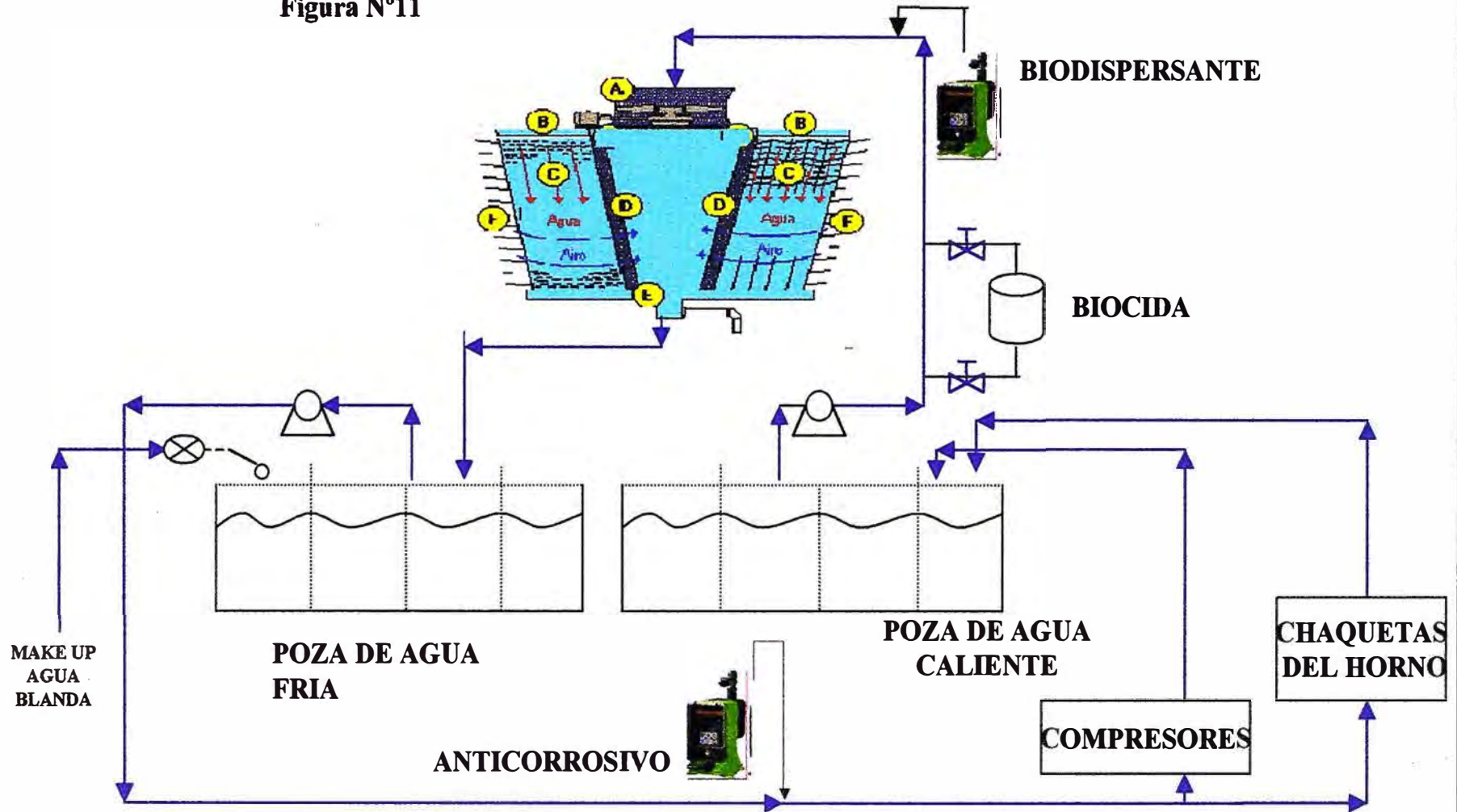


Tabla de Posible Selección de Biocidas para un Sistema de Enfriamiento Industrial (según Dr. Colin Frayne)

pH	Algas y Biomosas	Crecimiento- Biofilm	Bacterias y lamas
Debajo de 7.5	Clorofenol Cloro	Alquil Sulfonato Cloro	Alquil Sulfonato Cloro
7.5 – 8.5	Clorofenol Isotiazolin Bromo	Isotiazolin Bromo	Isotiazolin Bromo
Sobre 8.5	Clorofenol Isotiazolin Bromo	Isotiazolin Bromo	Isotiazolin Bromo

*** El Isotiazolin es un buen bactericida en general, pero no elimina eficientemente las algas, y su costo con respecto al Bromo es el doble.**

3.1.2 Propuesta Técnica

La propuesta Técnica tiene como objetivos:

- Lograr mantener el sistema en óptimas condiciones operacionales y ambientales. Es decir, sin problemas de contaminación microbiológica, incrustaciones, ensuciamiento de los equipos, incrementándose la vida útil de estos.
- Uso de un anticorrosivo que controle el biocida oxidante, en función de la calidad del agua de reposición.
- Acondicionamiento del equipo mediante una limpieza química, antes del tratamiento.
- Instalación de los equipos necesarios para el monitoreo del tratamiento.

◆ **Evaluación del Sistema (Ver Apéndice N° 7.1):**

➤ **Datos del Sistema de Enfriamiento Abierto:**

DATOS (CICLOS DE CONCENTRACION = 3)	
VOLUMEN DEL SISTEMA	880,10 m³
VOLUMEN DE REPOSICIÓN	9,78 m³/ día
HORAS OPERACIÓN	24
DÍAS MES OPERACIÓN	30

➤ **Análisis Químicos realizados antes de aplicar el Tratamiento Químico :**

ANALISIS	AGUA DE LA TORRE	AGUA DE REPOSICION (BLANDA)	VALOR RECOMENDADO
TDS(ppm)	4310	260	Registrar
PH	9.30	7.60	7.5-9.0
DUREZA TOTAL(ppm)	45	30	< 50 ppm
CLORUROS(ppm)	400	20	Registrar
FIERRO TOTAL (ppm)	0.24	< 0.1	< 1.0 ppm
ALCALINIDAD-M(ppm)	1450	90	Registrar
SILICE (ppm)	205	10	Registrar
SULFATOS(ppm)	653	31	Registrar
Ciclos de Concentración (ppm)			3 - 5

➤ **Análisis Microbiológico antes de la Limpieza Química:**

	AGUA DE LA TORRE
CONTEO BACTERIAL	10 ⁸
UFC/ml	

➤ **Determinación de la Calidad de Agua:**

Para esto se emplean los Índices desarrollados por Langelier (Ver Apéndice N° 7.5):

INDICE DE LANGELIER = -1.0429 Si IL < 0 corrosiva

◆ **Selección Del Tratamiento Químico:**

A) Control de la Corrosión: Debido al valor del LSI obtenido se utilizará el siguiente producto:

Anticorrosivo-Antincrustante base Zinc - Fosfonato

Es un tratamiento multiblend, cuya formulación es diseñada específicamente para prevenir procesos de corrosión e incrustación en sistemas abiertos y cerrados de recirculación de agua. El efectivo control de la corrosión es logrado usando una mezcla sinérgica de inhibidores orgánicos, zinc, polímeros estabilizadores y agentes activos de limpieza de la superficie a proteger.

El Zinc actúa como un inhibidor catódico, formando una capa protectora de Hidróxido de Zinc. El uso de productos organo-fosfonatos, reduce el requerimiento de residual de Zinc a valores de 1 a 3 ppm (como residual), aumentando la performance del programa.

Características**Beneficios**

Inhibidor de Corrosión Multimetalico

Protege tanto al fierro, cobre y sus aleaciones

Bajo contenido de Zinc

Ambientalmente aceptable y fácil de trazar
(1 a 3 ppm de residual de Zinc en el Sistema)

Excelente propiedades antincrustantes

Protege usando tres métodos: inhibición umbral, distorsión cristalina y dispersión

Posee un limpiador de metales

El limpiador de metal Cleaner II, permite tener las superficies metálicas limpias para favorecer una mejor adsorción del inhibidor.

Control:

El producto puede ser controlado mediante una prueba simple de residual de Zinc. Los límites de control están entre 1 a 3 ppm.

Valor Efectivo del LSI:

El Anticorrosivo-Antincrustante base Zinc – Fosfonato (formulación confidencial, propiedad de AQA Química S.A.) trabaja en un rango efectivo de LSI de -2 a +2, dentro de un pH de 6.8 a 8.5

B) Eliminación del Crecimiento Microbiológico

En el tratamiento se requiere matar a los microorganismos y luego retirarlos, para esto se utilizará un biocida efectivo y un biodispersante:

Biocida Oxidante base Bromo

Es un excelente biocida para el control microbiológico en el agua usada en torres de enfriamiento. Este biocida a base de **BCDMH** es efectivo para todo tipo de crecimiento microbiológico (algas, bacterias y hongos).

C) Control Del Ensuciamiento

Biodispersante base Surfactantes Etoxilados:

Es un surfactante y dispersante aniónico, utilizado para eliminar el biofilm en un programa de tratamiento microbiológico. Su uso garantiza una eficiente acción del biocida, disminuyendo su consumo. Es compatible con biocidas aniónicos y no iónicos. No debe usarse con biocidas catiónicos.

Componente: Surfactantes etoxilados

Características	Beneficios
Biodegradable	Ambientalmente aceptable
Buen emulsificante	Excelente para dispersar contaminaciones de Aceites y grasas
Excelente dispersante	Remueve, penetra y previene la formación del Biofilm.

Dosis Recomendadas:

Producto	Dosis Inicial Shock Its	Dosis de Manto.	Dosis de Manto. Gln / Mes
Anticorrosivo	91,70	3,00 lt/día	23,77
Biocida	16,50 Kg.	0,54 Kg/día	16,20 Kg/mes
Biodispersante	30,50	1,00 lt/día	7,92

NOTA:

La dosis inicial (Shock) es por única vez al dar inicio al tratamiento, dosificar las cantidades mencionados y luego continuar con la dosis de mantenimiento periódica.

3.2 APLICACIÓN Y CONTROL DEL BIOCIDA

Previamente a la iniciación del tratamiento se realizará una limpieza química al sistema de enfriamiento, con la finalidad de garantizar la eficiencia del tratamiento que se aplicará.

3.2.1 Parámetros de Control

Las visitas de inspección al sistema de enfriamiento consistieron en:

- **Análisis Químicos:** se evaluaron los parámetros del agua del sistema y adicionalmente se determinó el residual de Bromo en el agua de la torre y al ingreso al compresor. Los parámetros que más importancia tuvieron en la evaluación son:

ANALISIS	AGUA DE LA TORRE / INGRESO A LOS COMPRESORES	VALOR RECOMENDADO (AGUA DE TORRE)
Fierro Total (ppm)	X	< 0,5 ppm
Inhibidor De Corrosión: Zinc (ppm)	X	1 – 3
Bromo Libre (ppm)	X	0,1 – 0,3
Bacterias Ufcl/ml	X	< 10 ⁵
CICLOS DE CONCENTRACION	X	3 - 5

Los análisis se realizaron con un equipo de última generación: Fotómetro-Palintest, reportando los resultados instantáneamente gracias a su sensibilidad y rapidez.

- **Control De Purgas:** Trabajar con los Ciclos de Concentración adecuados en el sistema (3 a 5) para controlar la precipitación de las sales, regulando la frecuencia de purgas en la torre.
- **Control de la corrosión:** Se realizó análisis de fierro en el sistema (agua de la torre y de diferentes puntos por donde circula el agua), para mantener controlada la corrosión que se podría generar por el uso del biocida oxidante.

- **Ajuste de Dosificaciones:** para controlar los residuales tanto del biocida como del anticorrosivo.

3.2.2 Sistema de Dosificación y control

Se presenta la descripción de los equipos que se utilizaron en este sistema de enfriamiento abierto .

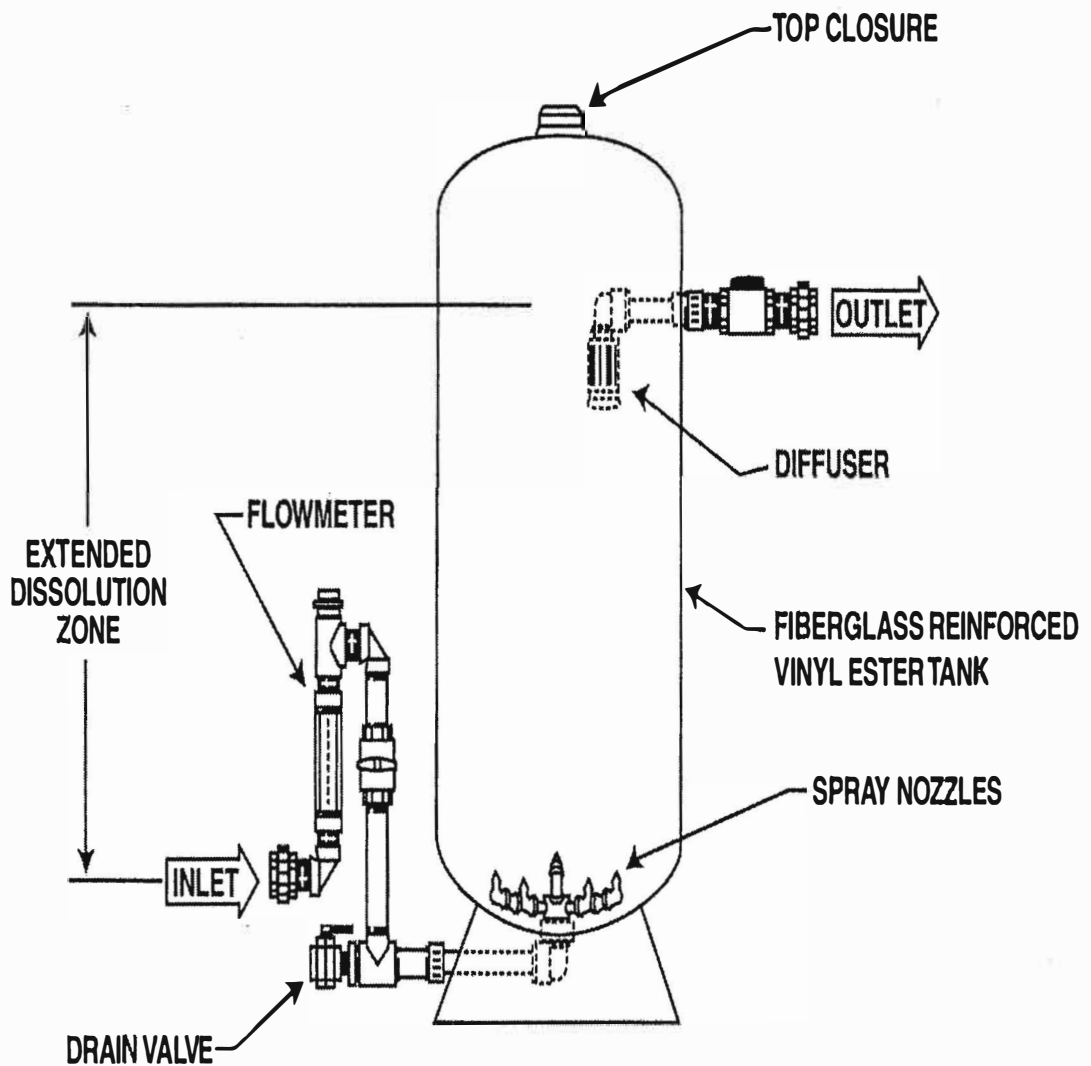
- **SISTEMA DE CONTROL DEL BIOCIDA:**
 - **Brominador:** se utilizará para alimentar el Biocida, el cual se dosifica en una desviación de la línea de agua de recirculación, utilizando agua de reposición, es la forma más eficaz reduciendo la cantidad de químico requerida. Cuando el alimentador del Bromo se pone en otras zonas del sistema, se requerirá una mayor cantidad de químico y existe el riesgo de oxidar otros productos del inhibidor que están siendo aplicados, por lo que se sugiere aplicarlos en puntos distantes a la aplicación del Bromo (Ver Fig.Nº12 y Nº13).
 - **Controlador de Oxido Reducción:** para determinar el residual de Bromo en el sistema, este se ubicó al ingreso del agua a los compresores. Tiene como función monitorear y controlar el potencial de oxido-reducción de Bromo. Los milivoltios leídos tienen su equivalente en ppm (gr/m^3) de la concentración residual del biocida.

CANTIDAD	DATOS DE LOS EQUIPOS
01	Modelo: E.CO.RX Rango de -1400 a +1400mv. Controlador de Oxido - Reducción para medición de Cloro o Bromo. Marca: ACQUATRON
01	BROMINADOR, Modelo IC-S-10 KIT Con medidor de Flujo de ½”.
01	Conexión del Electrodo
01	Electrodo ORP
01	¾” FNPT adaptador para electrodo “Tee”

BROMINADOR

Figura N°11

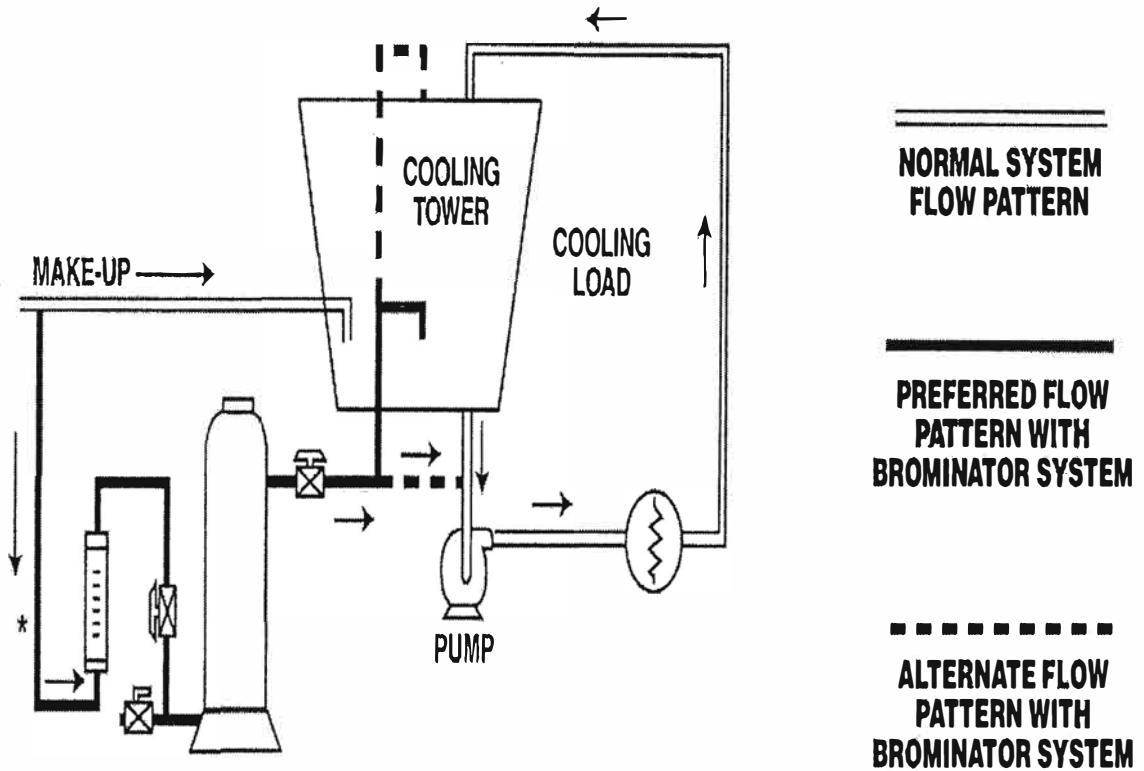
Brominator Feed System



MODO DE INSTALACION DEL BROMINADOR

Figura N°12

Example of a Typical Brominator Feed System Installation (Figure 2)



BROMINATOR FEED SYSTEM

* Use backflow prevention where necessary.
Consult your water treatment service professional.

➤ **DOSIFICACION DEL ANTICORROSIVO / ANTINCRUSTANTE**

CANTIDAD	DATOS DE LOS EQUIPOS
01	<p>BOMBA DOSIFICADORAS</p> <p>Modelo: DL-MA</p> <p>Electromagnética con caudal regulable de cabezal de propileno, válvula de bola de check ,regulación de caudal manual o variación de frecuencia</p> <p>Caudal de 0 – 3 litros /hr con una Presión de 12 Bar</p> <p>Estándar de 220v.</p> <p>Marca: ACQUATRON</p>

➤ **DOSIFICACION DEL BIODISPERSANTE**

CANTIDAD	DATOS DE LOS EQUIPOS
01	<p>BOMBA DOSIFICADORA</p> <p>Modelo: DL-MA</p> <p>Electromagnética con caudal regulable de cabezal de propileno, válvula de bola de check ,regulación de caudal manual o variación de frecuencia</p> <p>Caudal de 0 – 3 litros /hr con una Presión de 12 Bar</p> <p>Temporizador semanal con salida de relé inversos de 8 operaciones semanales</p> <p>Estándar de 220v.</p> <p>Marca: ACQUATRON</p>

3.3 RESULTADOS OBTENIDOS:

3.3.1 PRIMERA ETAPA:

Debido a la situación crítica del sistema fue necesario realizar una limpieza química, en la cual se removió gran cantidad de ensuciamiento microbiológico, la coloración del agua obtenida era negra y de olor a huevo podrido, característico de la presencia de bacterias sulfato-reductoras.

3.3.2 SEGUNDA ETAPA: Aplicación del Tratamiento Químico

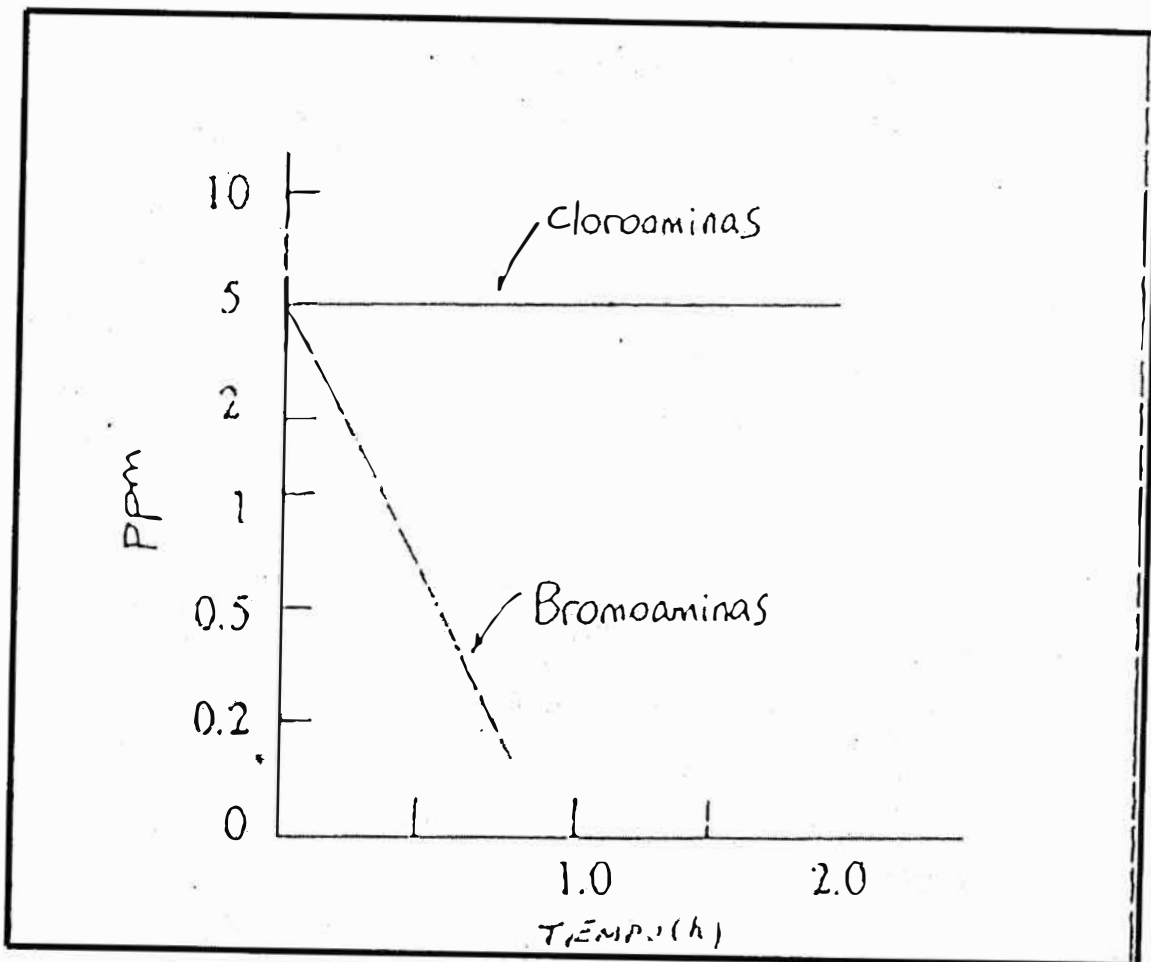
ANALISIS	AGUA DE LA TORRE (ANALISIS SEMANAL)							VALOR RECOMENDADO
	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6	Nº7	
PH	9,7	9,6	9,2	9,4	9,2	9,1	9,1	7,5 – 9,0
FIERRO TOTAL (ppm)	< 0,1	..	0,22	0,21	0,21	0,25	0,2	< 0,5 ppm
Zinc (ppm)	1,4	1,2	2,25	2,9	3,4	3,22	3,12	1 – 3
Bromo Libre (ppm)	0,45	0,12	0,13	0,20	0,21	0,23	0,20	0.1 – 0.3
Bacterias Ufcl/ml	< 10 ³	< 10 ³	< 10 ³	< 10 ³			< 10 ³	< 10 ⁵
CICLOS DE CONCENTRACION	9,6	8,8	5,6	8,6	5,4	5,7	5,5	3 - 5

ANALISIS	AGUA DEL INGRESO A LOS COMPRESORES (PLANTA)						
	SEMANA						
	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6	Nº7
pH	9,5	9,4	9,1	9,3	8,9	8,6	8,7
Bromo Libre (ppm)	0,10	0,12	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00

	OBSERVACIONES
Semana Nº1/2 /3	Los residuales de Bromo se detectan dentro del rango, se observa un ligero incremento de fierro en el agua, el cual se mantiene controlado en las siguientes semanas con el aumento de la dosificación del anticorrosivo.
Siguientes Semanas	Los residuales de Bromo al ingreso de planta se detectan nulos, lo que nos indican la rápida velocidad de reacción del Bromo con los microorganismos en la torre, también nos garantiza que los sistemas están protegidos de la corrosión.

**VELOCIDADES RELATIVAS DE DECAIMIENTO DE BROMOAMINAS VS
CLOROAMINAS**

Figura N°13



4. IMPACTO AMBIENTAL

- ❖ Un análisis de la vida media de las Bromoaminas Vs. las Cloraminas ayuda a entender porque la química del Bromo en el tratamiento del agua de enfriamiento tiene un menor impacto ambiental. En la figura anterior N°14, se muestra como las Bromoaminas decaen a niveles más bajos en menos de una hora, en comparación con las Cloraminas que requieren muchas horas para decaer a estos mismos niveles. Estudios de toxicidad en peces han confirmado que el impacto ambiental es reducido significativamente cuando la química de los compuestos bromados es aplicada. Esto fue claramente demostrado manteniendo por 96 horas peces inmersos en efluentes de agua tratada con la tecnología del cloro y del bromo, encontrándose, que en el primer caso murieron todos los peces, en el segundo ninguno.

- ❖ La figura anterior nos confirma los resultados encontrados en el agua de ingreso a los compresores, debido a la velocidad de reacción del Bromo los residuales encontrados en este punto de muestreo son mínimos (< 1 ppm).

- ❖ Las purgas programadas para control del sistema de enfriamiento son eliminadas conjuntamente con los efluentes de la planta industrial. Con respecto al reglamento de Desagües Industriales, y por los análisis realizados, es evidente que no hay efecto negativo alguno de esta agua en el efluente. Así tenemos:

Parámetro	Valores	Comentario
Sólidos Suspendidos Sedimentables	8.5 ml/l/hora	Ningún producto contribuye al aumento de este parámetro.
pH	5 – 8.5	El agua de la torre se elimina a un Ph promedio de 9 , al mezclarse con los otros efluentes, se tiene un valor de pH:7.2 en el efluente.
Grasas	100 mg/l	El biodispersante es un surfactante, por lo tanto no hay perturbación de este parámetro, mas bien contribuye ha disminuir la grasa
Temperatura	35°C	La temperatura de ingreso al sistema está en 30°C y a la salida en 25°C, es decir la purga sale con una temperatura promedio de 25°C.
DBO ₅	250 ppm	Por el uso de biocidas se disminuye la carga microbiológica

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

- La utilización de este biocida base Bromo, con respecto a los biocidas Clorados, es mucho más eficiente, sobre todo en variaciones de pH, de tendencia alcalina.
- En la prueba realizada al cabo de 01 mes se controló eficientemente los problemas microbiológicos y crecimiento de algas.
- En la actualidad en nuestro país existen numerosas empresas que trabajan con sistemas de enfriamiento y no aplican un mantenimiento adecuado, presentando problemas críticos de contaminación microbiológica.
- No se tiene un conocimiento verdadero del problema de la Legionella y sus efectos en la salud del personal en contacto con las micro-gotas dispersas en el ambiente. Más aún el diagnóstico clínico de esta infección en muchos casos fatales no podrían cuantificarse debido a la falta de evaluaciones clínicas necesarias en nuestro país.
- Debido a la fuerte contaminación ambiental de la zona (alrededores de la planta industrial,) es recomendable instalar un filtro en la línea de recirculación de agua y tapar las pozas de agua fría y caliente del sistema de enfriamiento, a fin de evitar el ingreso de contaminantes, y la exposición a luz solar.
- Por ser una tecnología nueva el costo de los biocidas Bromados es elevado con respecto al costo de los biocidas Clorados, pero si se compara con los costos de mantenimiento y paradas de planta resulta más beneficioso económicamente.

6. BIBLIOGRAFIA

➤ **Aznar A.**

TECNICAS DE AGUAS, PROBLEMÁTICA Y TRATAMIENTO

Primera Edición

Editorial Alción – Madrid, 1992

Pág.79-147

➤ **Frayne C.**

COOLING WATER TREATMENT – PRINCIPLES AND PRACTICE

Primera Edición

Chemical Publishing CO., INC – New York 1999

Pág. 183 - 205

➤ **Larry A.**

COOLING SYSTEM: FUNCTION AND DESIGN BASICS

Anco, New York 1994

Sec N°1 – Sec N°5

➤ **Traducido por: Morcillo I.**

**GUIA PRACTICA RECOMENDADA PARA MANTENER SU SISTEMA
DE ENFRIAMIENTO EFICIENTE Y SEGURO**

Segunda Edición

Eurovent 9-5

2002 – Pág.3-10

7. APENDICES

APENDICE N°7.1.

CALCULOS PARA EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ABIERTO

Ciclos de Concentración (C):

Se trabajará con Ciclos de Concentración de 3, para evitar la precipitación de sales si es posible se puede llegar a 5, lo determinaremos al iniciar operaciones.

1. **Velocidad Recirculación (V_R):** Es el caudal que se ha obtenido de planta, dato real.

$$V_R = 239.43 \text{ GPM}$$

2. **Velocidad de Evaporación (E):** Es la velocidad a la que el agua evaporada fluye para enfriar el agua de circulación. Es una pérdida de agua en el sistema.

$$E = V_R \times (DT / 1000) = 1.197 \text{ GPM}$$

$$V_R \rightarrow 239.43 \text{ GPM}$$

$$DT \rightarrow 5^\circ\text{C}$$

- f) **Agua de Reposición o Make Up (MU):** Es el agua necesaria para equilibrar las pérdidas por evaporación y purgas.

Siendo C: los ciclos de concentración igual a 3.

$$MU = E + B = E \times C / (C-1) = 1.795 \text{ GPM} = 9.78 \text{ m}^3/\text{dia}$$

- g) **Purga (B):** Agua de circulación que hay que drenar o extraer para evitar la concentración excesiva de los sólidos disueltos e impurezas del sistema.

$$B = E / (C-1) = 0.598 \text{ GPM}$$

APENDICE N° 7.2.

PROGRAMA DE MONITOREO Y CONTROL ANALITICO DE LOS PARAMETROS DEL TRATAMIENTO

Para obtener excelentes resultados en el tratamiento químico se realizarán diariamente los siguientes análisis:

ANALISIS	EQUIPOS Y REACTIVOS
Conductividad: TDS (um/cm)	Medidor de Conductividad Marca Palintest, con compensador de temperatura.
Cloruros (ppm Cl)	Titulador Digital HACH, para obtener resultados más precisos. También se puede utilizar un método más con Taylor para realizar comparaciones.
pH	Se utilizará un Phmetro digital Marca Palintest con compensador de Temperatura.
Hierro Total (ppm Fe)	Se realizará con el Fotómetro Digital Marca Palintest.
Inh. Corrosión (Sulfito) ppm	Titulador Digital HACH, también se puede utilizar un método más con Taylor para realizar comparaciones.
Sílice ppm	Se realizará con el Fotómetro Digital Marca Palintest.
Dureza Total y Dureza Acida (ppm)	Se realizará utilizando el Titulador Digital HACH, para obtener resultados más precisos. También se puede utilizar un método más con Taylor para realizar comparaciones.
Oxigeno Disuelto ppm	Método eléctrico Palintest.
Control Microbiológico	Cultivo microbiológico utilizando DIP SLIDE: Envirocheck ® Contact YM(R)

APENDICE N°7.3.**CONTROL Y MONITOREO MICROBIOLÓGICO:****• Método de Películas Sumergidas (paletas de ensayo – Dip Slide)**

Ref. Libro “MODERN COOLING WATER TREATMENT PRACTICE” (1era Edición) por Colin Frayne

Estos simples ensayadores han sido las primeras formas de monitoreo biológico usados en el campo para sistemas de enfriamiento por más de 25 años. Son autocontenidos, de uso rápido, de un solo uso, ensayos de selección y conteo, capaces de identificar diferentes clases y tipos de organismos. Consisten de una película de plástico (paleta), fijado a un cabezal, que está atornillado a una botella de plástico de observación, son suministrados en cajas de 10 o más. La paleta es aproximadamente de 2 ½” x 1” y típicamente tiene un agar sólido en cada lado. Típicamente estas películas sumergidas están disponibles para probar el total de bacterias aeróbicas(TAB), Levaduras y moho, y el total de Coliformes. Están disponibles derivaciones usando buzamientos medios, para probar organismos sulfato reductoras (SRB’s).

La película sumergida más usada es la TAB/TBC, el método empleado es destornillar el cabezal, remover la película sumergida por el cabezal, y sumergirlo en la muestra de agua de enfriamiento por 2 – 3 segundos, además ambas superficies son cubiertas por el líquido. Cualquier exceso de líquido será rápidamente drenado y el cabezal será atornillado nuevamente a la botella. La botella debe de estar almacenada por 24 a 36 horas a 25-30 °C. Luego, la colonia de bacterias (usualmente coloreadas) deberá ser comparada a una cartilla para su conversión (razonablemente) vía una interpretación cuantitativa de los resultados. Estos probadores son relativamente baratos y proveen una herramienta muy útil para el monitoreo.

APENDICE N°7.4.

PARAMETROS DE CONTROL DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO

ANALISIS	VALOR RECOMENDADO
PH	No existe un rango de pH universal que pueda ser adoptado, en la práctica el pH del agua de enfriamiento es un punto de referencia, que tiende el efecto de red de todas las acciones químicas y físicas que ocurren dentro del sistema.
Cloruros (ppm)	< 200 ppm es bueno, el riesgo de corrosión se incrementa con el aumento de cloruros. Se debe cuidar de mantener el sistema limpio.
TDS (ppm)	Límite típico máximo de 2500 a 3500 ppm como TDS
FIERRO (ppm)	Típicamente limite 0.5 ppm total
Residual del Inhibidor Zinc (ppm)	Cuando es añadido como parte del tratamiento, típicamente está en 1,5 – 3,0 ppm de Zinc
Sílice (ppm)	Límite práctico < 120 ppm a pH 8, o 180 ppm a pH 9,5
Bacteria UFC/ml	< 10 ⁵ UFC/ml

Ref. Libro “MODERN COOLING WATER TREATMENT PRACTICE” (1era Edición) por Colin Frayne

APENDICE N° 7.5.

DETERMINACION DE LA CALIDAD DE AGUA

Es posible estudiar las características particulares del agua que circula por el sistema, para determinar su tendencia a precipitar o disolver depósitos cálcicos.

Para esto se emplean los Indices desarrollados por Langelier. (Ref. Libro “MODERN COOLING WATER TREATMENT PRACTICE” (1era Edición) por Colin Frayne)

7.5.1 ÍNDICE DE SATURACIÓN DE LANGELIER

El LSI da una idea cualitativa de qué tan estable es el agua considerada con relación a la precipitación de CaCO_3 .

Se define como:

$$LSI = pH - pH_s$$

Un LSI positivo denota la tendencia del agua a precipitar carbonato de calcio, mientras que un LSI negativo indica que el agua tiene tendencia a disolver las incrustaciones.

Generalmente, el pH_s se calcula, a partir de un monograma, como:

$$pH_s = pCa + pAlc + C$$

donde: C es un valor que depende del contenido de sólidos totales disueltos del agua y de la temperatura.

7.5.2. ÍNDICE DE ESTABILIDAD DE RYZNAR

Se define el índice de estabilidad de Ryznar, como:

$$ISR = 2pH_s - pH$$

FORMA ACTUAL DE CALCULO DEL LSI:

$$pH_s = 12.3 - (\log Ca + \log TA + 0.025Temp - 0.011\sqrt{TDS})$$

PARAMETROS DEL AGUA DE REPOSICION

DUREZA CALCICA	Ca	18 ppm
ALCALINIDAD	TA	90 ppm
TEMPERATURA	Temp	25 ° C
SOLIDOS TOTALES DIS.	TDS	260 ppm

Phs=	8.6429
-------------	---------------

Ph	7.6
ACTUAL	

INDICE DE LANGELIER=	-1.0429
---------------------------------	----------------

Si IL<0 corrosiva

Si IL>0 incrustante

INDICE DE RYZNAR=	9.6857
--------------------------	---------------

4.0-5.0	HEAVY SCALE
5.0-6.0	LIGHT SCALE
6.0-7.0	LITTLE SCALE OR CORROSION
7.0-7.5	CORROSION SIGNIFICANT
7.5-9.0	HEAVY CORROSION
9-	CORROSION INTOLERABLE

RESULTADO:AGUA CORROSIVA