

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA**



**Diseño e instalación de un sistema de tratamiento químico para el agua
de una torre de enfriamiento localizada en el Ingenio Madre Tierra,
departamento de Escuintla.**

**TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO PARA OPTAR
AL TITULO ACADÉMICO DE INGENIERO QUÍMICO
EN EL GRADO DE LICENCIADO**



Francisco J. Ortega O.

Guatemala, 1997

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA

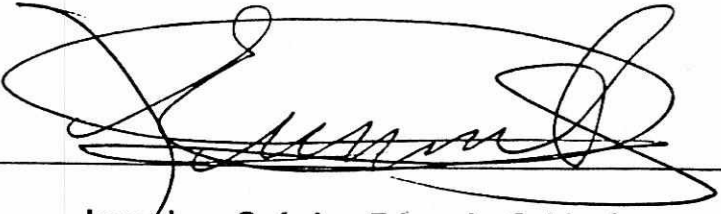


**Diseño e instalación de un sistema de tratamiento químico para el agua
de una torre de enfriamiento localizada en el Ingenio Madre Tierra,
departamento de Escuintla.**

Guatemala

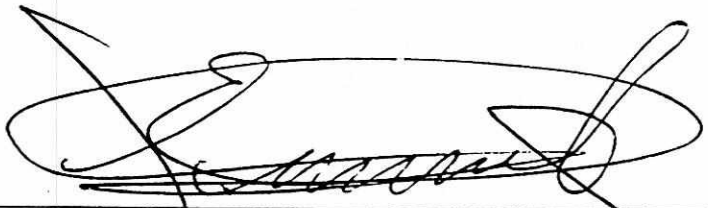
1997

Asesor:



Ingeniero Químico Eduardo Calderón

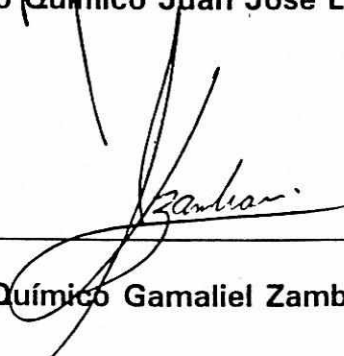
Tribunal:



Ingeniero Químico Eduardo Calderón



Ingeniero Químico Juan José Lira



Ingeniero Químico Gamaliel Zambrano

Fecha de aprobación: 04/11/96

**Diseño e instalación de un sistema de tratamiento químico para el agua
de una torre de enfriamiento localizada en el Ingenio Madre Tierra,
departamento de Escuintla.**

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

A MIS PADRES **Lic. Francisco Ortega González**
Sra. Carmen Orozco de Ortega

A MIS HERMANOS **Ing. Giancarlo Ortega**
Lda. Carmen I. Ortega Orozco

A MIS AMIGOS **Ing. Juan José Lira**
Ing. Eduardo Calderón
Srita. Karin Pira Vesco

**AL GRUPO DE INGENIEROS DEL INGENIO MADRE TIERRA POR EL APOYO Y
COOPERACION RECIBIDOS PARA ELABORAR ESTA TESIS.**

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	2
III. JUSTIFICACION	19
IV. OBJETIVOS	20
V. PROBLEMA A RESOLVER	21
VI. METODOLOGIA	22
VII. RESULTADOS	23
VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	28
IX. CONCLUSIONES	35
X. RECOMENDACIONES	37
XI. BIBLIOGRAFÍA	38
ANEXO	39

RESUMEN

En el presente trabajo se diseñó e instaló un sistema de tratamiento químico para el agua de una torre de enfriamiento que trabajará en circuito cerrado con el condensador de un turbogenerador de 15 Mvatios que esta instalado en el Ingenio Madre Tierra, departamento de Escuintla, Guatemala.

El agua de trabajo para esta torre de enfriamiento se obtendrá del río Xata. El principal problema del agua de este río es su alto contenido de sílice (30 ppm), contenido que limita a 5 ciclos de concentración el uso de este agua. A más de 5 ciclos de concentración, se pueden esperar problemas de incrustamiento de sílice y de carbonato de calcio. Además, el alto contenido de electrolitos presentes en el agua, promueve corrosión tanto en el cobre como en el hierro condensador. Para evitar estos problemas se aplica anticorrosivos como Benzotriazol, tolitriazol y molibdato de sodio y antiincrustantes como fosfanatos. La fórmula multipropósito Gessco 3083 contiene compuestos químicos que controlan la corrosión y el incrustamiento, especialmente en aguas con alto contenido de sílice. Con el uso de esta fórmula química, se puede llevar el agua hasta 8 ciclos de concentración. El crecimiento microbiológico se controla con aplicaciones semanales de choques de un amonio cuaternario y de cloro. Se aplicará Gescocide 52 (cloruro alquil dimetil bencil amonio al 50%) e Hipoclorito de sodio al 12%. Se calcularon dosificaciones; sin embargo estas son tentativas susceptibles al cambio, ya que solo la experiencia y la observación en marcha, nos permitirá ajustar el sistema y determinar las dosis correctas de aplicación para químicos y biocidas.

Para optimizar el sistema de enfriamiento y de tratamiento químico y de esta manera ahorrar dinero, energía y ayudar a la conservación del medio ambiente, se controla automáticamente la purga, la dosificación de químicos y el suministro de agua de reposición. El corazón de todo este sistema, es el controlador de conductividad que mide en línea este parámetro del agua fría hacia el condensador. En base a la conductividad se purga el sistema automáticamente con ayuda de una válvula solenoide y también se dosifica Gessco 3083 con una bomba electrónica dosificadora. El agua de reposición, se suministra

en base al nivel del depósito de la torre de enfriamiento. Este nivel se controla por medio de una celda de presión diferencial que manda a encender y apagar la bomba de agua de reposición.

La instalación de este sistema de tratamiento químico antes descrito, tuvo un costo de Q. 98,832. El presupuesto de los químicos necesarios para un año de operación es de Q. 296,863.

Es importante contemplar posibles modificaciones al sistema de enfriamiento y de tratamiento químico que solo la operación formal nos dirá qué tan necesarias son. Las diferentes condiciones ambientales que trae la época de zafra respecto a humedades relativas más bajas, ceniza y bagacillo en el aire y agua de río menos revuelta por haber cesado las lluvias quizás hagan necesario colocar un desnatador o "skimmer" en la torre de enfriamiento, filtros para el agua de reposición que trabajen en época de reparación (época lluviosa) e implementar programas de limpieza de los depósitos de la torre para eliminar la ceniza estancada. Por último, es probable que en el futuro se deba idear un sistema de tratamiento para el agua purgada de la torre.

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo consistió en el diseño de un sistema de tratamiento de agua para una torre de enfriamiento que está instalada en el Ingenio Madre Tierra, departamento de Escuintla. Este agua de enfriamiento forma parte de un circuito cerrado donde los principales componentes son el intercambiador de calor de un Turbogenerador condensante de 15 MVatios y una torre de enfriamiento de circulación forzada cuya función consiste en bajar la temperatura de 4,542 m³/h (20,000 gpm) de agua proveniente del condensador en 8.6°C (15.5°F) para así poder ser usada nuevamente.

El agua que se usará, tanto inicialmente como de reposición, será agua de río, la cual a pesar de tener sus variantes dependiendo de la temporada, ya ha sido debidamente analizada. En la base a la composición de este agua, se determinó sus tendencias corrosivas o incursantes. En base a estos datos, se determinaron los químicos requeridos y sus respectivas concentraciones para reducir dichas tendencias y de este manera mantener todo el sistema de enfriamiento operando eficientemente y en óptimas condiciones. De igual manera se tuvo en consideración el crecimiento de vida microbiana en sistemas como éste, tomándose las precauciones necesarias para evitar dicho crecimiento.

Se determinaron requerimientos de purga y su frecuencia, de los requerimientos de agua de reposición y el máximo de ciclos de concentración permisibles, así como la mejor localización de la aplicación de los productos químicos y biocidas.

Por último, en este trabajo se determinó el costo que representa instalar el sistema de tratamiento químico y el presupuesto de costos de productos químicos que se consumirán durante la operación de un año y así poder operar en óptimas condiciones el sistema de enfriamiento.

II. ANTECEDENTES

El agua ha sido usada como medio de enfriamiento desde años ancestrales, y el enfriamiento por evaporación se utiliza desde tiempos bíblicos. El hombre comenzó usando ríos, lagos, pozos y estanques de enfriamiento como lugares donde podía desechar y después rehusar el agua. Estanques de aspersión, torres atmosféricas de aspersión y las torres de circulación natural siguieron el desarrollo del enfriamiento del agua. Sin embargo, la aparición de grandes industrias con mucha demanda de agua de enfriamiento, trajo la creación de torres de enfriamiento de ventilación mecánica; torres de mucha más capacidad las cuales ahorran grandemente agua y espacio, y por consiguiente dinero.

Básicamente el enfriamiento del agua se da por el contacto directo entre el agua y el aire. Este enfriamiento es ocasionado principalmente por el intercambio de calor latente (calor de evaporación) que resulta de la evaporación de una pequeña cantidad de agua, y parcialmente por la transferencia de calor sensible (calor que ocasiona un cambio de temperatura) lo que aumenta la temperatura de bulbo húmedo al igual que la temperatura de bulbo seco del aire. El calor transferido del agua hacia el aire se disipa en la atmósfera.

(4)

Los tipos de torre de enfriamiento son:

De enfriamiento de circulación mecánica: Es aquella que usa un ventilador para hacer circular el aire de los alrededores a través de la torre. Las torres de circulación mecánica pueden ser de tiro inducido o tiro forzado dependiendo de si el aire se "hala" o se "sopla" a través de la torre. También pueden ser de flujo cruzado o de flujo en contracorriente, dependiendo de el movimiento relativo del aire respecto al agua. En el flujo cruzado, el aire viaja perpendicularmente al agua que cae. En el flujo en contracorriente el aire viaja verticalmente en contra del agua que cae. (4)

Términos relacionados con enfriamiento de agua (4):

- ***Carga calorífica:*** La cantidad de calor que debe ser disipado por la torre de enfriamiento; se expresa en J/h. o Btu/h. Es igual a los kilogramos de agua circulando multiplicado por el rango de enfriamiento y el calor específico a presión constante.

- **Rango de enfriamiento:** Es el número de grados ($^{\circ}\text{C}$) en los cuales el agua de enfriamiento se enfría, es decir, la diferencia entre la temperatura del agua caliente (entrante) y la temperatura del agua fría (saliente).
- **Acercamiento:** También llamado acercamiento al bulbo húmedo, es la diferencia entre la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) del agua fría saliendo de la torre y la temperatura de bulbo húmedo de aire de los alrededores.
- **Temperatura de bulbo húmedo:** Es la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a la cual el aire puede ser enfriado adiabáticamente hasta saturación mediante la adición de vapor de agua. En la práctica, la temperatura de bulbo húmedo es la temperatura indicada por un termómetro cuyo bulbo se mantiene húmedo por una mecha y sobre el cual circula aire.
- **Temperatura de bulbo seco:** La temperatura del aire que es indicada por un termómetro de bulbo seco.
- **Rendimiento:** La medición de la capacidad de una torre de enfriar el agua. Es normalmente expresada en enfriamiento de una cantidad de agua desde una temperatura específica de agua caliente hasta una temperatura específica de agua fría con una temperatura de bulbo húmedo específica.
- **Brisa:** Es el agua arrastrada fuera de la torre por el aire de escape. Se expresa como un porcentaje del agua recirculada.
- **Purga:** Es el desecho continuo o intermitente de una pequeña cantidad del agua en circulación. Esta pequeña cantidad de agua desalojada es alta en sólidos y al ser repuesta por agua fresca de reposición, realiza la función de mantener los sólidos en solución abajo de sus límites de saturación. Se expresa como un porcentaje del agua recirculada.
- **Agua de Reposición:** Es el agua requerida para reemplazar el agua que se pierde por evaporación, brisa, purga y fugas. También es expresada como porcentaje del agua recirculada.
- **Cabeza de bombeo de la torre:** Es la presión total en la línea central del sistema de distribución de entrada, más la diferencia en elevación entre esta línea de entrada y el nivel superior del agua en el tanque de agua fría.

- **Número de concentración:** Una medida que indica el límite de concentración del agua para mantener los sólidos disueltos. Este número de concentración depende de la calidad de agua de reposición. Una definición puede ser:

$$\text{No. de concentraciones} = \frac{\text{Sólidos disueltos en el agua de recirculación}}{\text{Sólidos disueltos en el agua de reposición}}$$

Una ecuación que involucra la frecuencia de purga necesaria para mantener un número de concentraciones establecidas es:

$$\text{No. de concentración} = \frac{\text{Perdidas por evaporización} + \text{Perd. por brisa} + \text{Purga}}{\text{Perdida por Brisa} + \text{Purga}}$$

- **Dureza:** El término dureza, se aplicó inicialmente a las aguas que eran "duras" de lavar en; se refería a la propiedad de agotamiento del jabón que tenían las aguas. La dureza del agua es causada por su contenido de calcio y magnesio y en la mayoría de las aguas alcalinas la propiedad de agotar el jabón es directamente proporcional al contenido de magnesio y calcio. Dureza de calcio es la dureza causada por las sales solubles de calcio; dureza de magnesio la causada por sales solubles de magnesio. Dureza total es la suma de la dureza de calcio y la dureza de magnesio y se expresan en términos de partes por millón (ppm) de carbonato de calcio CaCO_3 . (4)

Los términos dureza de carbonatos, dureza de bicarbonatos y dureza temporal, son sinónimos de la dureza atribuida a los bicarbonatos de calcio y magnesio; siendo el último término el preferido actualmente. Los términos dureza de no-carbonatos, dureza de sulfatos y dureza permanente, son sinónimos de la dureza causada por sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y magnesio. De igual manera el primero de estos términos es el preferido actualmente. (4)

El agua además de ser un magnífico fluido de transferencia de calor, también es un magnífico solvente el cual disuelve muchos sólidos y gases, lo que puede provocar problemas de incrustaciones y corrosión. En el agua de recirculación con las condiciones presentes en las torres de enfriamiento (pH, temperatura, etc.), es muy fácil el crecimiento de materia orgánica como algas y hongos (estos últimos se desarrollan en la estructura de torres de madera). Estos problemas mencionados pueden disminuir grandemente la capacidad de transferencia de calor de los equipos de enfriamiento pudiendo llegar a ser fatales. Sin embargo, con el tratamiento de agua apropiado se pueden controlar antes que sea demasiado tarde (4)

Todas las aguas de fuentes naturales contienen sólidos disueltos; algunos en más cantidad que otros, todo dependen de las características del suelo de donde provengan. Entre los sólidos más comunes están los bicarbonatos y sulfatos de calcio, sodio y hierro. Dióxido de carbono es el más común de los gases y se presenta en concentraciones más altas en las aguas de pozos y lagos poco profundos donde está presente debido a procesos de descomposición. (4)

Las aguas naturales también pueden ser afectadas por desagües industriales lo que por lo general da como resultado condiciones ácidas. Grasas, ácidos, hidrocarburos, etc., se pueden introducir directamente en los sistemas de enfriamiento. Contaminantes aéreos no deseados como dióxido de azufre, vapores de ácidos, cenizas de chimeneas y otros, se integran y disuelven en el agua de recirculación lo cual sin ningún tipo de tratamiento, crea grandes problemas de corrosión de las partes metálicas, deterioro de la madera y baja de la eficiencia térmica del sistema de enfriamiento. (4)

El tratamiento del agua de una torre de enfriamiento tiene tres principales objetivos:

- Prevención de incrustaciones
- Prevención de corrosión y
- Control de algas y materia microbológica.

A) PREVENCIÓN DE INCRUSTACIONES

Se ha estimado que un quinto de la corteza de la tierra está formada de carbonato de calcio. Su solubilidad debe de ser considerada en la mayoría de los sistemas de agua de enfriamiento. La tendencia a incrustaciones del carbonato de calcio puede calcularse por medio de índices de incrustamientos tales como el Langelier y Ryznar. Sin embargo, a pesar de ser confiables, sólo nos dan una idea cualitativa y no cuantitativa. (1)

La solubilidad de la mayoría de las sales aumenta con la temperatura. Una importante excepción a esta regla la tienen el sulfato de calcio y el carbonato de calcio, pues a temperaturas altas, como existen en intercambiadores de calor, su solubilidad en agua disminuye y precipita. Al precipitarse se adhieren (incrustan) a las paredes de las tuberías de los equipos reduciendo la eficiencia de transferencia de calor ya que estas incrustaciones actúan como aislamientos debido a su baja conductividad térmica, lo que disminuye el coeficiente global de transferencia de calor. (1)

La evaporación que se da lugar en las torres de enfriamiento y en otros sistemas de recirculación abiertos, puede concentrar los sólidos disueltos hasta propiciar la formación de incrustaciones; en especial las de carbonato de calcio. Sin embargo, la incrustación en sí, se forma en los intercambiadores de calor donde las temperaturas son más elevadas. El pH de la solución también afecta la formación de incrustaciones de carbonato de calcio. Los pH altos promueven las incrustaciones mientras que los bajos las inhiben. (1,5)

Existen entre otras, dos principales formas de prevenir las incrustaciones de sulfatos de calcio y de carbonatos de calcio (principalmente las de este último) manteniendo estos compuestos en solución. Una es por medios mecánicos y la otra por medios químicos. Los medios mecánicos se reducen a purgar ya sea continua o periódicamente el agua de recirculación de la torre de manera que una porción de agua sea removida y repuesta con agua fresca. Así se mantienen las sustancias formantes de incrustaciones abajo de sus concentraciones límites de insolubilidad y por tanto precipitación (1).

La otra forma de prevenir incrustaciones es por métodos químicos; entre ellos el de agregar continuamente ciertos compuestos químicos llamados secuestrantes. Estos "secuestrantes" son principalmente polifosfatos o fosfonatos. Su función es la de prevenir el crecimiento cristalino y la precipitación de los compuestos de calcio, aún cuando su límite de solubilidad se haya sobrepasado. (1)

Los polifosfatos se usan principalmente en aguas municipales y otros sistemas potables ya que no presentan problemas tóxicos. Su transformación a ortofosfato impide su más amplio uso en sistemas abiertos de recirculación. Los fosfonatos son más usados en sistemas abiertos de recirculación porque son más efectivos ya que son más estables. Poliacrilatos de baja masa molecular y estirenos sulfonatados también han sido usados con éxito para controlar depósitos de compuestos de calcio. Este método de aplicación de secuestrantes es efectivo cuando las aguas de reposición son de bajo o moderada alcalinidad y dureza. (1)

Cuando las aguas son demasiado duras y alcalinas se recurre al método más antiguo de agregar directamente ácido. El ácido más usado, principalmente por su bajo costo, es el ácido sulfúrico. Otros ácidos usados son el clorhídrico y el nítrico. El ácido clorhídrico tiende a aumentar la corrosión más que el ácido sulfúrico, pero tanto el clorhídrico como el nítrico permiten altas concentraciones salinas en el agua, debido a la mayor solubilidad de los cloruros y los nitratos. Sin embargo, el sulfato de calcio si tiene una relativa baja solubilidad y si no se tiene cuidado, se puede sobrepasar el límite de saturación de esta sal (alrededor de 1200 ppm expresados como CaCO_3) lo que resultaría en la formación de incrustaciones muy desagradables y difíciles de eliminar. Es común encontrar tratamientos para prevenir incrustaciones en las cuales se utiliza una combinación de aplicación de ácido y de secuestrantes. (3,5,7).

Como se dijo anteriormente, otra sal de calcio que se tiene que controlar para prevenir incrustaciones, es el sulfato de calcio. Las incrustaciones de sulfatos son tan difíciles de remover, que el procedimiento más recomendado es el de mantenerse abajo del límite de solubilidad. Una regla general usada para prevenir las incrustaciones de sulfato de calcio es: $\text{ppm Ca}^{+2} \times \text{ppm SO}_4^{-2} = \leq 500,000$

En la mayoría de sistemas, es posible concentrar el agua de enfriamiento de cuatro a cinco veces sin sobrepasar los 500,000; sin embargo, es importante incluir el SO_4^{-2} agregado al dosificar ácido sulfúrico. A veces hay que cambiar de ácido sulfúrico a muriático lo que implica alza de costos.

Otros compuestos que producen incrustaciones son los silicatos. Los silicatos forman diferentes complejos de incrustaciones con calcio, magnesio, aluminio, sodio y hierro. (1)

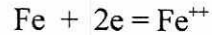
En sí, no hay un dispersante efectivo para evitar depósitos de silicatos. El procedimiento de control es el de mantener el nivel de sílica del agua de recirculación abajo de 200 ppm. Cuando el agua de reposición tiene un nivel considerable de sílica (60 - 80 ppm) hace que los ciclos de concentración alcanzables bajen mucho. De modo que lo más recomendado es usar un buen agente de control de carbonato de calcio y elevar el pH del agua a 8.0 - 8.5. El pH más alto tiende a mantener los silicatos en solución. (1)

INHIBICIÓN DE CORROSION:

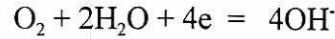
A través del uso de un efectivo inhibidor de corrosión se evitan, hasta cierto punto, los gastos de reparación y renovación de equipo destruido por la corrosión. Las superficies de intercambio de calor y otras superficies metálicas del sistema, son mantenidas en buena condición, lo que ayuda a tener superficies lisas que son más difíciles de incrustar. (7)

Los metales son corroídos en agua a través de una reacción electroquímica que involucra una corriente que pasa de regiones de alto potencial a regiones de bajo potencial que existen entre una y otra parte del sistema. Los metales se disuelven en el ánodo, la región de bajo potencial, para formar iones. Estos migran bajo la fuerza electromotriz a un cátodo, la región de alto potencial, donde ellos dan su carga para formar parte en una reacción química. Al mismo tiempo los electrones, liberados en el ánodo durante la formación iónica, migran a través del metal hasta llegar al cátodo, donde ellos también forman parte en la reacción. (7)

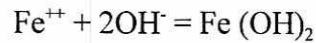
Cuando el metal es hierro, la reacción aniónica es:



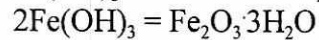
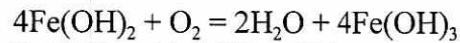
Si hay oxígeno presente, como es usual en aguas naturales, una primera reacción en el cátodo es:



y el ión hidroxilo formado reacciona con los iones ferrosos formados:



Si la concentración de hidróxido ferroso así formado es excesiva, éste se comenzará a depositar como flóculo blanco. Además reacciona con O_2 adicional, así:



de manera que como productos de corrosión, resultan los siguientes compuestos: óxido de hierro básico (FeOOH), óxido férrico (Fe_2O_3) y tetraóxido de hierro Fe_3O_4 .

Las regiones catódicas y anódicas necesarias para que se lleve a cabo la corrosión resultan de las partes heterogéneas en el metal. Estas pueden ser submicroscópicas o macroscópicas, dependiendo de las superficies de los metales y la interfase metal/agua.

La diferencia de tamaños entre los cristales de los metales puede causar celdas de corrosión, o aún el mismo grano puede contener regiones catódicas y regiones anódicas. (7)

Inhibidores de corrosión:

Los principales problemas respecto a la gravedad de ataque de corrosión, están directamente relacionados con tres factores: el grado de polarización, la conductividad y el área superficial relativa.

Un corto circuito a través del metal existe cuando un ánodo y un cátodo están presentes; la celda se polariza, es decir, se dan áreas de diferentes concentraciones lo cual crea un potencial eléctrico a través de la celda. Cuando el ánodo y el cátodo son acercados esta polarización es menor; cuando son pegados completamente, se vuelve cero y la corrosión se detiene.

La corrosión también puede ser detenida interfiriendo con la reacción anódica (control anódico), con la reacción catódica (control catódico), con la migración de iones, (control difusivo) o bien induciendo la velocidad de reacción dentro de la región de formación de la película pasiva. (control de activación). (7)

El agua debe ser conductiva para que el circuito sea completo; y si los otros elementos son constantes, la corrosión será proporcional a esta conductividad. Es por esto que el agua de mar estimula la corrosión mucho más que el agua dulce.

La superficie relativa de los ánodos y las concentraciones de los cátodos también debe ser considerada. En agua destilada no-conductiva, esto no es importante, pero en agua conductiva, el ataque al acero en una junta de cobre-acero será proporcional al área de cobre expuesta. Por tanto, cuando una junta o acople debe estar construida por dos metales, el metal más noble debe tener la menor área expuesta. Para que la corrosión tome lugar, se necesita una celda completa, es posible restringir la corrosión por medio de la acción de varios inhibidores tales como: ión cromato, fosfatos, iones zinc, silicato de sodio, inhibidores orgánicos, nitritos, boratos o una combinación de éstos.

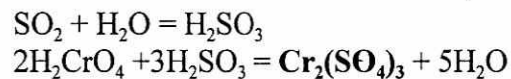
Iones Cromatos: Probablemente es el inhibidor más efectivo para sistemas de agua. La protección se da debido a una película que consiste en óxido alfa-férrico y óxido de cromo.

Esta película se desarrolla cuando:

- el hierro se corroe para formar iones ferrosos,
- estos iones ferrosos, después son oxidados por el oxígeno en el sistema
- óxido de cromo se incluye en la película debido a la reducción del cromato. (7)

Los aspectos negativos de la inhibición con iones cromato son los siguientes:

- Los iones cloruros penetran la película de óxido y puede causar corrosión por debajo.
- Debido a que el ión cromato actúa en la parte anódica del metal (donde Fe^{+2} se desarrolla), una cantidad inadecuada de cromato dejaría pequeñas partes desprotegidas y aparecerán grietas y hendiduras.
- Los cromatos son tóxicos y el desecho de aguas que contienen cromatos es prohibido.
- Los agentes reductores como aceites, sulfuro de hidrógeno y dióxido de sulfuro, reaccionan con el ión cromato para formar el ión cromio (Cr^{+3}) inefectivo de acuerdo a la segunda reacción. (7)



Fosfatos: Son muchas veces usados como inhibidores de corrosión y como inhibidores de incrustaciones. Ellos son tripolifosfato de sodio, hexametáfosfato de sodio y una variedad de fosfatos de polímeros de alta masa molecular. Estos fosfatos forman una delgada película protectora, principalmente en las áreas catódicas.

Sin embargo, los polifosfatos se revierten químicamente en ortofosfatos (baja masa molecular) cuando son calentados, cuando hay un pH bajo o cuando hay un alto nivel de calcio. Este ortofosfato reacciona con sales de aluminio o hierro en forma de lodos insolubles. Este lodo es hasta cierto punto protector. Se deposita principalmente en el ánodo y de haber una pequeña rotura un ataque de corrosión ocurre por picadura. (7)

Zinc: Individualmente es un inhibidor relativamente débil. Es un inhibidor catódico en el sentido que forma depósitos de hidróxido de zinc en las áreas catódicas. De esta manera disminuye el potencial de la celda.

Silicatos de sodio: Estos forman delgadas películas protectoras sobre la primera capa de producto de corrosión de la superficie metálica. La intermalla resultante de silicato y óxido, producto de corrosión, es negativamente afectada por altas concentraciones de cloruros o iones sulfatos.

Inhibidores orgánicos: Funcionan, ya sea ayudando en el desarrollo de una película protectora de óxido metálico, formando una película protectora de material insoluble o una barrera activa especial.

Los químicos que ayudan en el desarrollo de la película óxido metálica pueden ser polímeros orgánicos naturales o sintéticos. En el caso de los orgánicos insolubles, ciertos inhibidores son específicos para algunos metales. El material orgánico reacciona con los iones metálicos que están en la solución y forman un precipitado en la superficie metálica. Esta película crece hasta que el contacto directo entre el metal y lo corrosivo se haya eliminado. Las películas de barrera son desarrolladas debido a la doble naturaleza de muchos compuestos orgánicos de larga cadena: grupos metalofílicos e hidrofóbicos en la misma molécula. (7)

Nitritos: Es un pasivador activo para el acero, de manera que el acero se torna más noble en la presencia de ión nitrito. Una pasividad similar ocurre con aleaciones de antimonio. La pasivación de cobre es menos fuerte.

Borax: Se incluye mucho con inhibidores cuya base son los nitritos, principalmente para mantener el pH del agua en un rango de 8 - 10, lo que es muy eficiente para prevenir ataques localizados.

Combinaciones de inhibidores: Las combinaciones de inhibidores son muy efectivas y los beneficios sobrepasan las expectativas de los inhibidores que actúan individualmente. Al pensar en una formulación de inhibidores, debe considerarse la composición del agua y el tipo de metal. En muchos casos, la predicción del tratamiento más económico y sus concentraciones, sólo puede determinarse por pruebas empíricas. (7)

C) CONTROL BIOLÓGICO Y MATERIA EXTRAÑA

El crecimiento de algas y de vida microbológica, si se deja acumular, puede ser extremadamente perjudicial para la distribución de agua y flujo de aire en la torre de enfriamiento que reduce la transferencia de calor en los intercambiadores.

Por otra parte, la mejor manera de remover materia en suspensión que incorporan al sistema por medio del aire, es a través de una filtración continua. Aceites y grasas deben removerse del agua de circulación por medio de un "desnatador" o preferiblemente eliminando la fuente de dicha contaminación. Los aceites y grasas, además de representar peligro de fuego, reduce la capacidad térmica de la torre de enfriamiento así como de intercambiadores de calor (1).

Análisis de laboratorio y análisis en el lugar (in situ) son esenciales para prevenir depósitos debido al crecimiento microbológico. La aplicación de biocida simplemente en base a una inspección ocular de las torres de enfriamiento y las lagunas de aspersión, no son recomendadas ya que los intercambiadores de calor también proveen un ambiente favorable para el crecimiento de bacteria. (7)

Los pasos más importantes para el control microbológico son:

1. Limpieza sistemática y saneamiento de la planta.
2. Eliminación de áreas estancadas
3. Uso apropiado de biocida, incluyendo tratamientos de choque.
4. Uso de un purificante
5. Variaciones de acuerdo con fluctuaciones en temporada, calidad de agua, necesidad de enfriamiento, etc. (7).

La tendencia del control de escoria orgánica es hacia medidas preventivas, control general de depósitos problemáticos, aplicaciones flexibles y el uso de biocidas con formulación adecuada.

La concentración del biocida, duración de la aplicación y la frecuencia de aplicación deben ser consideradas, así como la selección del material más efectivo. (5.7)

La selección del biocida involucra:

- efectividad sobre los microorganismos predominantes en el sistema
- costo
- descarga y recirculación del agua
- toxicidad para la vida animal y vegetal expuesta al agua descargada.

En general, una mezcla de químicos es más barata y efectiva que el uso de un solo agente para control biológico. Una pequeña concentración de un biocida caro, puede ser necesaria para controlar uno o más tipos de organismos, pero agentes más baratos serán suficientes para los otros.

También ciertos organismos podrán desarrollar inmunidad a ciertos químicos, mientras que la resistencia a otros se mantiene baja.(7)

Los principales químicos usados para matar bacterias, hongos y algas en los sistemas de enfriamiento de agua son:

- Los compuestos de *Organotins*, son extremadamente activos contra bacterias, algas y hongos. Sin embargo es esencial que este tipo de compuesto se formule con algún amonio cuaternario de manera que se tenga un biocida que exhiba acción sinérgica y sea dispersable en agua. Una formulación así es más efectiva contra todos los microorganismos que cualquier otro compuesto usado separadamente.
- *Amonios cuaternarios y aminas complejas* son materiales catiónicos surfo-activos y por eso son miscibles con el agua en todas las proporciones. Destruyen los microorganismos por sus propiedades sulfo-activas. Son estables en el rango de pH de operación de los sistemas de enfriamiento. La naturaleza catónica de estos compuestos, da protección a la madera de la torre de enfriamiento. Sin embargo, esta propiedad también disminuye su efectividad en aguas que contienen aceites y residuos orgánicos. (1,7)

Estos materiales, entre compuestos antimicrobianos, son los que tienen el olor más aceptable y los menos tóxicos para la vida animal. Puede producir espuma en algunos sistemas, pero se puede controlar usando anti-espumantes adecuados.

- **El cloro y el hipoclorito** se han usado desde hace mucho tiempo. Para un buen control se requiere cloro libre en el rango de 0.5 - 1 ppm. Una clara desventaja es la posibilidad de ataque a la madera. También mucho cloro puede ser corrosivo a las superficies metálicas. Algunas bacterias y hongos no son bien controladas con soluciones de cloro o hipoclorito.
- **Los fenoles clorinados** son usados en forma de sales de sodio y potasio porque son más solubles. Mientras el pH se baja, estas sales en soluciones acuosas tienden a transformarse en sus respectivos fenoles; estado en el cual su acción biocida es más potente. Los residuos activos de los compuestos fenólicos se mantienen en el sistema por mucho más tiempo que el cloro. Los fenoles clorinados más usados son: 2,4,5 triclorofenol, 2,4,6 triclorofenol, 2,3,4,6 tetraclorofenol y pentaclorofenol. (1,7)
- Los compuestos **órgano-azufre**, así como el azufre y los compuestos de azufre, se han usado ampliamente para diversos fines antimicrobianos. Los compuestos órgano-azufre hoy en día usados poseen grupos activos de carbono, azufre y nitrógeno de varias configuraciones. Muchos de estos compuestos son solubles en agua, fácil de manejar y aplicar, bajos en toxicidad para la vida animal y muy económicos. Además son altamente efectivos contra bacterias, hongos y bacterias sulfato-reductoras en particular. Se suele combinar clorofenatos con estos compuestos para fines fungicidas más específicas.
- Los compuestos **órgano-tiocianatos** son muy efectivos contra un amplio rango de microorganismos. Su actividad no se ve disminuida por la presencia de materia orgánica, aceites, dureza y otros factores adversos asociados con los sistemas industriales de agua. Sin embargo, por lo general, sólo son levemente solubles en agua y se debe tener gran cuidado de usar en sistemas solvente-disperstantes apropiados. Su actividad fungicida se aumenta cuando se combina con otros químicos tales como los policlorofenoles. (1,7)

INDICES PARA LA EVALUACIÓN DE AGUA DE ENFRIAMIENTO

Dos excelentes métodos analíticos para determinar las características incrustantes o corrosivas de aguas de enfriamiento, son el Índice de saturación de Langelier (L.I) y el Índice de estabilidad de Ryzner (R.I). (1,3,4,6).

El principio básico detrás de ambos índices, es el cálculo del valor de saturación de pH, simbolizado por pH_s , de la determinación analítica de: coeficientes de actividad del agua, K_s (coeficiente de actividad de calcio) y K_2 (coeficiente de disociación del bicarbonato); la concentración del ión calcio $[Ca^{++}]$; la concentración de alcalinidad total, $[A] = [OH^-] + [HCO_3^-] + [CO_3^{--}]$ y el coeficiente de fuerza iónica de todas las sales disueltas, μ , $[S] = [2,5 \mu^{1/2} / (1 + 5.3 \mu^{1/2} + 5.5 \mu^{1/2})]$. El valor de pH_s se puede calcular así:

$$pH_s = 9.30 + S + \log (K_s/K_2) - \log [Ca^{++}] - \log [A]$$

o simplemente:

$$pH_s = 9.30 + A + B - C - D \quad (1)$$

donde $A = [S]$, $B = \log K_s/K_2$, $C = \log [Ca^{++}]$ y $D = \log [A]$. La relación de coeficientes de actividad, B, es fuertemente gobernada por la temperatura. (3,6)

El índice de saturación de Langelier está dado por:

$$L.I. = pH - pH_s$$

donde ya se describió pH_s en la ecuación 1 y el pH es el valor medido en el agua.

Un valor L.I. negativo (-) indica la *presencia* de CO_2 disuelto en agua y un valor positivo (+) indica la *deficiencia* de CO_2 disuelto en el agua. De manera que un valor negativo indica la tendencia corrosiva del agua y un valor positivo indica la tendencia incrustante de ella. (3,6)

El índice de estabilidad de Ryzner se describe así:

$$R.I. = 2 pH_s - pH$$

Un agua que tiene un valor de R.I. menor de 6.0 es formador de incrustaciones y un agua con un valor mayor de 7.0 es corrosiva.

Para producir un agua "estabilizada" de modo que minimice la corrosión y la tendencia a incrustaciones de esta agua, es deseable mantener L.I. entre 0 y 0.5 y R.I. entre 7.0 y 8.0. (3)

A continuación se presentan tablas usadas para evaluar rápidamente los índices de Langelier y de Ryzner. (3,6)

Coeficiente de fuerza iónica de
todas las sales disueltas (A)

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

El logaritmo de la relación de coeficientes de actividad
 $\log(K_s/K_2)=(B)$ dependiente de la temperatura.

°C	°F	B
0 - 1	32 - 34	2.6
2 - 6	36 - 42	2.5
7 - 9	44 - 48	2.4
10 - 13	50 - 56	2.3
14 - 17	58 - 62	2.2
18 - 21	64 - 70	2.1
22 - 27	72 - 80	2.0
28 - 31	82 - 88	1.9
32 - 37	90 - 98	1.8
38 - 43	100 - 110	1.7
44 - 50	112 - 122	1.6
51 - 56	124 - 132	1.5
57 - 63	134 - 146	1.4
64 - 71	148 - 160	1.3
72 - 81	162 - 178	1.2

(C) Logaritmo de Dureza de calcio, $\log[Ca^{+2}]$
 y (D) Logaritmo de alcalinidad Total

ppm $CaCO_3$	C	D
10 - 11	0.6	1.0
12 - 13	0.7	1.1
14 - 17	0.8	1.2
18 - 22	0.9	1.3
23 - 27	1.0	1.4
28 - 34	1.1	1.5
35 - 43	1.2	1.6
44 - 55	1.3	1.7
56 - 69	1.4	1.8
70 - 87	1.5	1.9
88 - 110	1.6	2.0
111 - 138	1.7	2.1
139 - 174	1.8	2.2
175 - 220	1.9	2.3
230 - 270	2.0	2.4
280 - 340	2.1	2.5
350 - 430	2.2	2.6
440 - 550	2.3	2.7
560 - 690	2.4	2.8
700 - 870	2.5	2.9
880 - 1000	2.6	3.0

III. JUSTIFICACIÓN

Un sistema de enfriamiento, se fundamenta básicamente en la transferencia de calor de una parte a otra. En el caso de un Turbogenerador condensante, el vapor que mueve la turbina y genera energía eléctrica, pasa de ciertas condiciones hasta condensarse a una presión de vacío. Este es el sistema más eficiente ya que el vapor entrega la máxima energía posible.

Los sistemas de enfriamiento, son diseñados para realizar cierto intercambio de calor, dependiendo del fluido a enfriar, la temperatura, velocidad y características del agua de enfriamiento. Las Torres de enfriamiento son diseñadas de igual manera para una velocidad específica de disipación de calor. De manera que el intercambiador de calor debe remover cierta cantidad de calor en un tiempo determinado y la torre de enfriamiento debe disipar este calor a la misma velocidad.

Si tanto el intercambiador de calor como la Torre de enfriamiento sufren obstrucciones de flujo por impurezas o incrustaciones, ya su funcionamiento no será el esperado; su capacidad disminuirá. Obviamente tomará más tiempo realizar la misma transferencia de calor. El condensador no condensaría a la misma velocidad y el turbogenerador perdería eficiencia, lo que se traduce en pérdida de energía y dinero. En la torre de enfriamiento, no se alcanzaría la caída de temperatura del agua necesaria, lo que eventualmente resultaría en requerimientos de agua fresca de reposición más frecuente. En lugares donde se paga por unidad de volumen de agua esto sería muy perjudicial.

A parte del aspecto económico, un buen tratamiento químico para el agua de enfriamiento maximiza la vida útil de la misma, lo que mantiene lo más cerrado posible el circuito torre-intercambiador. Esto ayuda a preservar el medio ambiente ya que no sólo se reduce la extracción de alguna fuente de agua natural el agua de reposición necesaria, y evita devolver al ambiente más de lo necesario del agua caliente.

IV. OBJETIVOS

Objetivo General: Diseñar e instalar un sistema de tratamiento químico para agua de enfriamiento, lo más efectivo, eficiente y económico para la buena operación de una torre de enfriamiento de circulación forzada, que opera en Ingenio Madre Tierra, localizado en el departamento de Escuintla, que tiene un rango de enfriamiento de 8.6 EC (15.5EF) y cuya capacidad es de 4,542 m³/h (20,000 gpm) de agua.

Objetivos específicos:

- Caracterizar y determinar tendencias corrosivas o incrustantes del agua de río a usar como agua de enfriamiento y de reposición.
- Determinar la cantidad y frecuencia de purgas, así como requerimientos de agua de reposición.
- Determinar los químicos adecuados y sus concentraciones, así como puntos óptimos de aplicación en el sistema.
- Realizar un estudio económico para determinar el costo anual del sistema de tratamiento químico.

V. PROBLEMA A RESOLVER

Se quiere diseñar un sistema de enfriamiento con capacidad de 4,542 m³/h de agua. El agua a usar es agua de río con alto contenido de minerales, en especial sílice. Es posible que si esta agua no es debidamente tratada, ocasione problemas de incrustaciones, corrosión y proliferación de vida microbiana lo cual resultaría en una pérdida de capacidad, tiempo y dinero para el usuario. Las características del agua que se usará inicialmente y para reposición son:

REPORTE DE ANALISIS DE AGUA

ANALISIS del agua de río	ppm	*Concentraciones límites (ppm)
Sílice (como SiO ₂)	29.3	150
Hierro (como Fe)	0.07	—
Cobre (como Cu)	0.13	—
Calcio (como CaCO ₃)	30.0	13 ppm a 100°C
Magnesio (como CaCO ₃)	14.0	75 ppm a 100°C
Alcalinidad 'P' (como CaCO ₃)	0.0	450
Alcalinidad 'M' (como CaCO ₃)	52.0	500
Cloruro (como NaCl)	8.0	—
Sulfato (como SO ₄)	1.0	1500
Ph	7.48	—
Conductividad (en micromhos)	100	5000
Suspensión Fuerte	Presente	—
Temperatura	20 °C	—

*Concentraciones límites de solubilidad a 35°C

VI. METODOLOGÍA

1. Caracterizar el agua de río que se usará como fuente inicial y también como agua de reposición
2. Con la información obtenida, determinar los índices de Langelier y Ryzner para conocer la tendencia corrosiva o incrustante del agua.
3. Determinar los ciclos de concentración obtenibles del agua de río. En base a este resultado, determinar la cantidad de frecuencia de purga así como del agua de reposición
4. Estudiar alternativas y escoger químicos apropiados para el tratamiento. Tener en cuenta materiales de construcción del condensador y de la Torre de enfriamiento, así como posibles contaminantes e interferentes
5. Cotizar y ver alternativas económicas de los productos en el mercado el mercado que cumplen con nuestros requerimientos y tomar decisión de la línea de los mismos
6. Analizar el sistema físico de circulación de agua y determinar los puntos óptimos de aplicación de productos químicos, localización de válvulas, sensores, etc.
7. Dimensionar y trazar un plano de los requerimientos auxiliares: bombas dosificadoras, válvulas, equipo de instrumentación, sensores, etc.
8. Con datos reales realizar un estudio económico de los costos de operación anual del sistema de tratamiento químico.
9. Con datos reales realizar un estudio económico de los costos de instalación del sistema de tratamiento químico y presupuesto del costo anual de químicos a consumir.

VII. RESULTADOS

Compuesto Químico Limitante	Sílice
Ciclos de Concentración Permitidos	5 ciclos
Ciclos de Concentración Permitidos con ayuda de tratamiento químico	8 ciclos tentativos
ΔT máxima del sistema de enfriamiento	8.6 °C (15.5 °F)
Purga máxima	9.54 m ³ /h (42 gpm)
Agua de reposición máxima	70 m ³ /h (310 gpm)
Agua de Recirculación	
- Índice Langelier de Saturación (L.I)	0.6
- Índice Ryznar de Estabilidad (R.I)	6.7
Tendencia del agua de recirculación	Levemente incrustante

TRATAMIENTO QUIMICO

Problema	Químico Genérico	Químico Comercial	Conc. recomendada Dosificación
Corrosión	Anticorrosivo - Benzotriazol ó tolitriazol - molibdato de sodio	GESSCO 3083	150 ppm 34.35 kg/día
Incrustación	Dispersante - Fosfonatos	GESSCO 3083	150 ppm 34.35 kg/día
Crecimiento Biológico	Biocida -Amonio cuaternario - Cloro	GESCOCIDE 52 Hipoclorito de sodio al 12 %	SEMANALMENTE 40 ppm 23.2 l cada semana 1 ppm 631 g/min por 67.5 min 42.58 kg por semana

Equipo y Componentes del sistema.

Sistema de Purga:

- Controlador de Conductividad MORR con salida de control a una válvula solenoide y otra salida a una bomba dosificadora. Recibe señal de un electrodo que mide la conductividad en el agua caliente. Rango de medición 0 - 2,000 micromhos/cm sat point = 800 micromhos/cm.
- Válvula Solenoide de dos vías de 2" de diametro catálogo 40 de Bronce y acero inoxidable. Normalmente cerrada. $C_v = 38$ (ver anexo)

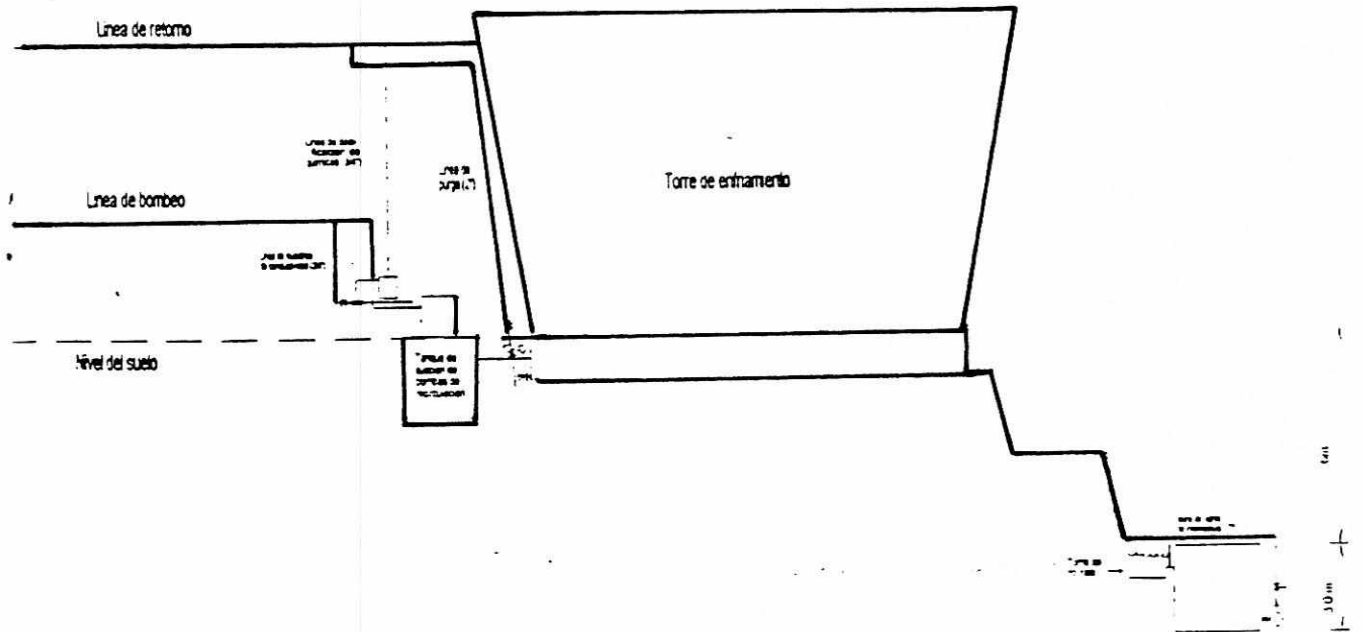
Sistema de Agua de Reposición:

- 2 bombas centrífugas de una etapa marca ITT A-C Pump, Serie A-C-203948-0102, capacidad 1325 l/min (350 gal/min) con carga de bombeo de 23 m. (75 pies), rodete de 22.86 cm. (9"), cerrado de 6 álaves.
- Motores Siemens, tipo RGZ de 7.46 kvatios (10 Hp), 440 V, 1750 rpm.
- Tanque desarenador de 54 m³ (14,000 gal). Dimensiones: 6 m de largo, 3 m. de ancho y 3 m. de hondo. Contrucción de concreto armado.
- Sistema de Control de Nivel que accione las bombas de reposición.
 - Celda de presión diferencial marca Bailey con rango de 0 - 3 m. (0 - 120 pulg.) Brida de 12.70 mm (1/2")
 - Registrador de datos marca **Data Watch** de 16 entradas (Ya presente)
 - Arrancador Nema 1 con arranque automático o manual.

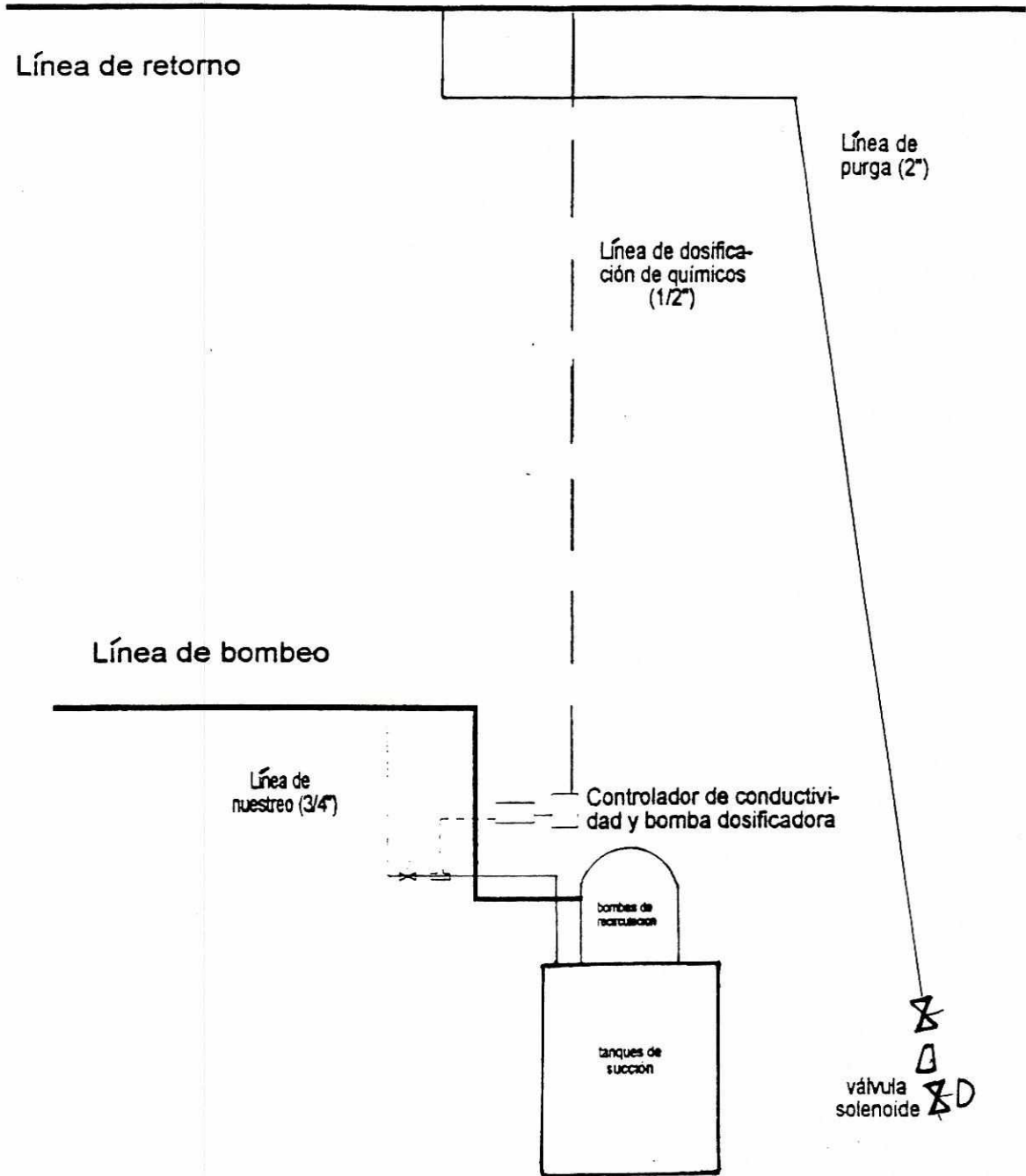
Sistema de Dosificación de Químicos:

- Bomba medidora dosificadora de diafragma marca Milton Roy, Modelo B121-92S. Flujo máximo de 227 l/día (60GPD) contra una presión máxima de 6.9 Bar (100 psi).

ESQUEMA DE TUBERIAS Y COMPONENTES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO QUIMICO



**Acercamiento de línea de muestreo,
línea de purga y línea de dosificación**



RESULTADOS DE COSTOS

COSTOS DE INSTALACION		
Cantidad	Equipo y Materiales	Precio Q.
1	Bomba Milton Roy	3,690
2	Bombas ITT	24,192
1	Válvula Solenoide	4,575
1	Controlador Conductividad	2,928
1	Arrancador de motor 10HP 440 v.	520
1	Tanque Desarenador	40,000
1	Celda de Presión dif.	6,130
*	Tubería de 3" (acero soldable)	
11	Codos	446
5	Válvulas compuesta	4,709
3	T's	189
3	Tubos (20' c.u)	3,552
1	Cheque	3,850
10	Flanges	697
*	Turbina de 2" (acero soldable)	
1	Válvula compuesta	239
1	Filtro	315
2	Tubo de 20	638
2	codos	39
*	Tubería de 3/4"	
2	Válvulas	166
3	Tubo de 20	420
6	Codos roseados	48
1	Universal	22
3	Coplas	18
1	Manómetro 0 - 100 psi. 3" carat.	250
	Material Eléctrico	1,200
	TOTAL Q.	98,832
PRESUPUESTO ANUAL DE CONSUMO DE QUIMCOS		
Químico	Precio (Q/kg)	Total
Gessco 3083	19.45	243.972
Gescocide 52	24.16	28.564
Hipoclorito de sodio 12%	11.00	24,327
	TOTAL	296.863

VII. DISCUSION DE RESULTADOS

QUIMICOS A USAR EN EL TRATAMIENTO QUIMICO:

Como se puede deducir de la determinación de los índices de Langalier y de Ryznar (ver anexo) el agua de reposición proveniente del río Xata es levemente incrustante, pero se tiene que prever contra corrosión porque cualquiera alteración en el sistema, puede volver corrosiva el agua de recirculación.

Los tubos del condensador que usará el agua de enfriamiento son de cobre, de manera que se necesita el inhibidor de corrosión más adecuado para este metal. Los Azoles aromáticos son muy efectivos como inhibidores de corrosión para cobre y sus aleaciones. Estos son absorbidos químicamente por la superficie metálica, dando excelente protección, aún a dosis mínimas de 1 ó 2 ppm. Benzotriazol y Tolitriazol son los más comunes y efectivos. Estos forman películas delgadas que refuerzan las películas comunes de óxido cuproso y cúprico. Por todo esto, dentro del tratamiento químico se debe incluir Benzotriazol y Tolitriazol.

Para incrementar la capacidad inhibidora de corrosión de los azoles aromáticos, se combinan con molibdatos tales como el molibdato de sodio. Esta sal es un inhibidor anódico que forma una película pasivadora en el ánodo de hierro de óxidos ferroso-férrico-molibdeno. Su efectividad, aún a bajas concentraciones, es mayor que otros inhibidores tales como cromatos, nitritos y compuestos de zinc. Además, estas sales de molibdatos tienen menos impacto ambiental que otros metales pesados como cromo y zinc.

Para combatir la sílice, se agregará polielectrolitos dispersantes como fosfonatos que la mantengan en suspensión a mayores concentraciones y de esta forma se pueden obtener niveles más altos de ciclos de concentración.

Gulf Engineering Co. Inc con su división química "GESSCO", es una compañía que tiene una línea muy completa de químicos para el tratamiento de aguas industriales (aguas de desecho, agua de calderas, aguas de enfriamiento, etc). Entre sus productos tienen el Gessco 3083, un producto especial para tratamientos de aguas con alto contenido

de sílice. Ellos aseguran poder elevar la concentración máxima del sílice de 150 ppm hasta 300 ppm. Debido a ésto, en los resultados mostramos que "tentativamente" los ciclos de concentración se podrán elevar a 8 ciclos con este producto. Al cumplirse ésto, la purga y el agua de reposición variarán disminuyendo. Aunque fue imposible conocer la formulación exacta del Gessco 3083 el boletín técnico indica: "***el producto 3083 contiene inhibidores de corrosión e incrustamiento, antiensuciantes, dispersantes y un inhibidor de corrosión para metales amarillos***". Por esta razón, y por la buena relación del Ingenio con esta compañía se escogió este producto como un químico de multipropósito para el tratamiento.

Para combatir el crecimiento microbiológico, se adicionará periódicamente (semanalmente) un compuesto de amonio cuaternario. La periodicidad de las aplicaciones estará susceptible a cambios, dependiendo de cómo se comporte el sistema. De igual manera si es necesario, se puede intercalar el uso de amonios cuaternarios con compuestos carbamatos. Para apoyar la acción biocida del amonio cuaternario, se harán aplicaciones de choque con hipoclorito de sodio. Es importante notar que al aplicar el hipoclorito de sodio al agua de enfriamiento, la concentración de cloro libre en ésta no pase de 2 ppm ya que puede ser perjudicial para la torre puesto que es de madera. Sin embargo, se necesita mantener una concentración en el agua de 1 ppm de cloro residual durante una hora, para conseguir el efecto biocida deseado. Con una dosificación de 630 g/min de hipoclorito de sodio al 12% durante 67.5 minutos se obtendrá una concentración de 1 ppm en el agua de recirculación durante 1 hora en el sistema (ver anexo). La aplicación de 1 ppm de cloro durante más de una hora (67.5 min) se debe a que gran parte del cloro se pierde en el aire cuando el agua es expuesta a contra-corriente con el.

Hay diferentes casas de químicos que venden amonios cuaternarios. Nuevamente GESSCO tiene en su línea el Gescocide 52, que es una solución al 50% de cloruro de amonio alquil dimetil bencílico, seleccionándose finalmente este producto, por razones similares a la elección del Gessco 3083.

ANALISIS DEL SISTEMA

Sistema de Purga: Aún cuando mediante los cálculos se determinó el valor máximo de la purga cuando se estén produciendo 15 Mwattios (ver anexo), el intervalo de temperatura (ΔT) que la torre tendrá que manejar variará por diferentes razones, siendo la principal la menor carga calorífica en el condensador. Si se generan menos de 15 Mwattios es porque menos de 68,182 kg/h (150,000 lb/h) de vapor está llegando al turbogenerador. Por consiguiente, habrá menos energía que "atrapar" por el agua de enfriamiento, resultando en un ΔT menor al máximo. Otras causas incluyen los cambios en el ambiente: temperatura del aire (si es de día o de noche) y humedad relativa (temperatura de bulbo húmedo). Estas causas afectan el desempeño de la torre de enfriamiento, y la mayor o menor evaporación del agua por lo mismo. Estos factores también afectan el volumen de purga necesario por unidad de tiempo.

Para eliminar pérdidas innecesarias de agua y químicos se colocó un sistema automático de purga que purgue el sistema sólo cuando sea realmente necesario. Los sólidos totales inorgánicos de una solución tienen una relación directa con la conductividad de ésta. Un controlador continuo de conductividad que mida los sólidos totales del agua de recirculación y detecte un valor límite, puede enviar una señal que ordene a una válvula solenoide abrir y purgar el sistema. De esta manera se purga el sistema sólo cuando sea necesario, ahorrándose dinero en la operación continua.

El electrodo medidor de conductividad se colocó en una línea de pequeño diámetro (3/4") que proviene de la línea de agua fría hacia el condensador. Esta tubería regresa al tanque de succión de las bombas de enfriamiento y es muy importante que el flujo que retorna a este tanque sea visible, de modo que se esté seguro que el electrodo está midiendo la conductividad del agua en movimiento y no de un agua estancada. También se colocó una válvula antes del electrodo de modo que ésta corte el flujo de la línea auxiliar en caso que se necesite limpiar el electrodo. Este electrodo mide la conductividad del agua fría con los químicos y con el agua de reposición ya agregados.

La purga se realiza del agua caliente para aprovechar a rebajar la carga calorífica que llega a la torre de enfriamiento. La aplicación de químicos no se realiza antes de la

toma de purga ya que se corre el riesgo de botar y desperdiciar químicos. De igual manera es recomendable que el final de la línea de purga sea visible de modo que se tenga la seguridad que ésta está trabajando y que la válvula solenoide no está tupida con escoria o suciedad. Para evitar que se tape la válvula solenoide se colocó una válvula manual y un filtro en "Y" antes de la válvula solenoide. Con estos accesorios, se puede cortar el flujo de purga y limpiar el filtro cuando sea necesario. La válvula solenoide trabaja como una válvula de control de encendido y apagado(on/off). Por esta razón se dimensionó la válvula de modo que esté abierta aproximadamente un tercio del tiempo de operación del sistema.

Aún con el monitoreo y control automático, se realizará 3 veces por turno el chequeo del controlador de conductividad con respecto al conductímetro del laboratorio. Además se analizará una vez por turno el contenido de sílice (ver anexo) del agua de recirculación.

Sistema de aplicación de químicos: El Gessco 3083 (líquido ámbar claro, densidad relativa 1.05) viene en presentación de tambo de 208 litros (55 galones) y la bomba dosificadora medidora Milton Roy es antisifón, de modo que el producto se puede bombear directamente del tambo sin necesidad de construir tanques o accesorios adicionales. Estas bombas reciben una señal del controlador automático que indica si se debe bombear o no, dependiendo de que la conductividad éste arriba o abajo del punto crítico establecido. Este sistema es muy delicado, y sobre la marcha se tendrá que ir ajustando y monitoreando para determinar la efectividad real de este tipo de control. La bomba puede operarse manualmente, y se tendrá que hacer de esta manera si se detectan fallas en la dosificación. Es preferible "sobredosificar" químicos que obtener corrosión e incrustamiento en el sistema.

El lugar de aplicación de los químicos se ubica en la línea de agua caliente hacia la torre de enfriamiento, después de la línea de purga, por las razones antes descritas. De esta forma se consigue una buena distribución de los químicos, ya que la cascada de agua pasa a través de toda la torre.

Cuando se realice la aplicación semanal del Gescocide 52 (líquido rosado claro, densidad relativa 0.980) se puede aplicar con esta misma bomba dosificadora, la cual succionará de ambos tambos. Para ello, se aumenta el flujo de la bomba a su máximo y de ser necesario, se coloca una válvula restringidora de la cantidad de Gessco 3083 que se bombea. El Gescocide 52 se debe aplicar lo más rápido posible para obtener el efecto de "choque" . Inicialmente se aplicarán 23.2 litros para los 568 m³ (150,000 gal) que consisten en el volumen total de agua del sistema, pero de igual manera esta cantidad se tendrá que ajustar según como se comporte el sistema respecto al crecimiento biológico.

Sistema de agua de reposición: El agua de reposición necesaria, cuando el sistema esté trabajando con la carga calorífica máxima será de 70.4 m³/h (310 GPM). Se colocaron dos bombas centrífugas de 1325 l/min (350 gpm) aún cuando en servicio solo trabaje una. Esto es para tener la otra lista por cualquier percance o inconveniente. Sería catastrófico tener que parar la operación del sistema de cogeneración, por un desperfecto en una bomba de agua de reposición.

El agua del río Xata durante la época de invierno, trae cierta cantidad de sólidos, en especial tierra y arena. Debido a esto, se construyó un depósito desarenador, el cual ayudará a que la bombas manejen el agua más limpia posible. Está contemplada la alternativa de filtros especiales que limpien esta agua de reposición si se volviera muy crítico el problema. Sin embargo, esto no forma parte del sistema inicial.(Para mayor información sobre el dimensionamiento y proceso de elección de la bomba ITT ver el anexo en la sección de *Sistema de agua de reposición.*)

Al igual que con la purga, el volumen de agua de reposición es variable, de modo que este sistema también se controlará automáticamente. Manteniendo el nivel del depósito de la torre de enfriamiento constante, se asegura que se está reponiendo el agua necesaria. Celdas de presión diferencial (d/p cell), son muy eficaces para mantener niveles de depósitos constantes. Se colocó una celda de presión diferencial la cual cierra un circuito que hace pasar corriente a las bombas de agua de reposición. Al reponerse el nivel de agua abre el circuito, apagando la bomba.(para mayor información del funcionamiento del sistema de control de nivel ver el anexo en la sección de *sistema de agua de reposición*) Se

escoge esta alternativa en gran parte para que el motor de la bomba de agua de reposición sólo trabaje cuando sea necesario. y de esta manera ahorrar energía. Otra razón es porque el registrador de datos marca **Data Watch** de 16 canales que envía la señal al arrancador del motor ya existía en el sistema de cogeneración, así que no significó una inversión extra. Sin embargo, una vez que la planta de cogeneración sea puesta en marcha y se afine de manera que se puedan producir constantemente los 15 Mvatios esperados, la bomba prácticamente tendrá que estar trabajando constantemente. En este caso, una válvula de control neumático de tres vías que reciba señal de la celda de presión diferencial sería más indicada para esta aplicación. Además de su costo elevado, otro inconveniente está en llevar aire cerca del reservorio de agua de reposición (distancia un poco larga), ya que esto implica gastos adicionales de instalación. Es importante tomar en cuenta las diferentes condiciones de trabajo que se experimentan entre la época de zafra y la época de reparación.

Por ejemplo:

- A) El clima: durante zafra, el clima es seco (no llueve). Aún cuando las temperaturas ambientales no varían mucho, las humedades relativas del aire difieren entre época de zafra y reparación, afectando el funcionamiento de la torre.
- B) Durante tiempo de zafra, en el aire se encuentran muchas partículas en suspensión tales como bagacillo y cenizas. Estas partículas serán atrapadas por el agua que caerá en cascada en la torre de enfriamiento, de modo que durante esta época el agua contendrá muchos más sólidos que podrán causar problemas de taponamientos y erosión de metal (tubería, bombas, válvulas, etc.). Si estos problemas se presentan en gran escala, será necesario buscar solución para ellos. El bagacillo flota y las cenizas se sedimentan, de modo que estos problemas se tienen que tratar de diferente forma. Con un desnatador "skimmer" se puede quitar el bagacillo flotante pero no las cenizas. Las cenizas se podrán eliminar parcialmente por medio de la válvula de drenaje de cada depósito de la torre (existen tres depósitos). Sin embargo, es posible que cada cierto tiempo se tenga que inhabilitar una sección de la torre para limpiarla manualmente. Habrá que programar estas limpiezas cuando haya menos carga calórica en el condensador

- C) Como ya se comentó anteriormente en la discusión, durante la época de zafra, cesan las lluvias de modo que el río Xata ya no viene revuelto. Esto significa que la tierra, arena y sólidos en suspensión, disminuyen, resultando un agua de reposición mucho más limpia. Para prevenir este problema durante época de reparación (época de invierno) se construyó el tanque desarenador, pero si al entrar en operación se observa que no cumple adecuadamente con su función, se tendrá que conseguir un sistema de limpieza del agua más especializado como filtros especiales, separadores hidrociclónicos, etc.

IX. CONCLUSIONES

1. Los índices de Langelier y Ryznar son una eficiente herramienta para tener una idea cualitativa de las tendencias incrustantes o corrosivas del agua respecto al carbonato de calcio. Sin embargo aún después de implementar un tratamiento químico, la observación y el seguimiento cercano es necesario para verificar su buen funcionamiento.
2. El alto contenido de sílice del agua del río Xata, hace que los ciclos de concentración se limiten a 5, teniéndose que orientar el tratamiento químico hacia el control de incrustaciones de sílice y evitar la corrosión del cobre y el hierro del condensador.
3. El agua del río Xata a 5 ciclos de concentración, es levemente incrustante respecto al carbonato de calcio.
4. Midiendo la conductividad del agua, se determinan los sólidos totales presentes en ella. Sin embargo la sílice se debe determinar a través de un prueba analítica espectrofotométrica.
5. El sistema de control automático por medición de conductividad, es el corazón del sistema de tratamiento químico ya que éste controlará la dosificación de químicos y la purga e indirectamente el agua de reposición.
6. La Purga y el suministro del agua de reposición, deben realizarse automáticamente para minimizar pérdidas de dinero y mal uso del agua.
7. A través del tratamiento químico, se busca aumentar los ciclos de concentración permisibles del agua de recirculación. Esto resulta en ahorro de energía, agua, dinero y ayuda a la conservación del medio ambiente.
8. Con la fórmula multipropósito anticorrosiva y antincrustante Gessco 3083 se planea aumentar hasta 8 los ciclos de concentración para optimizar al máximo el uso del agua de enfriamiento.

9. El Gescocide 52 y el hipoclorito de sodio al 12%, cuya función es controlar el crecimiento microbiológico, se aplicarán de choque semanalmente, porque es más económico y eficaz que la dosificación continua.
10. Aún cuando en este trabajo se dan parámetros de diseño y funcionamiento del sistema de tratamiento químico, la experiencia ayudará a ajustar dichos parámetros y optimizar el sistema. Ejemplo de estos parámetros son:
 - A) Dosificación de Gessco 3083 con la bomba, de modo automático o manual.
 - B) Dosificación y frecuencia de aplicación de Gescocide 52 y cloro.
 - C) Necesidad de limpieza de agua de reposición.
11. La línea de bombeo del agua de reposición, está dimensionada de forma bastante ajustada, respecto a la velocidad lineal recomendada para el líquido dentro de la tubería, debido a que se usó material ya existente en el ingenio.

X. RECOMENDACIONES

- Tomar en cuenta las variaciones que sufre el sistema de enfriamiento y de tratamiento químico según la época del año para poder así optimizar el funcionamiento de la torre.
- Es recomendable apoyarse en el laboratorio, para chequear la conductividad y la sílice y poder comparar resultados con el controlador automático.
- Cuando se estén cogenerando de forma continua los 15 Mw esperados, la bomba de agua de reposición tendrá que funcionar casi constantemente. Se recomienda la futura instalación de una válvula de control de tres vías que resultará en que el control del agua de reposición sea más exacto y haya menor variación en la conductividad del agua de recirculación (sistema más estable).
- Se recomienda en un futuro cambiar línea de agua de reposición de 3" a una de 4" para disminuir las pérdidas de presión por fricción.
- La purga se desechará inicialmente al medio ambiente sin ningún tratamiento. Se recomienda contemplar posibles alternativas de implementación, a mediano plazo, de un tratamiento para esta agua con alta concentración de sólidos.

XI. BIBLIOGRAFIA

1. Dorrington, H. F. 1981. **Solutions to Boilers and cooling water problems.** American Water work Associates. 1ra. ed. New York
2. Gurney, J.D. & I. A. Cotter. 1966. **Cooling Towers.** McLaren & Sons. Ltd. 1ra. ed. London.
3. Howe. R. **Combining indexes for cooling water evaluation.** Chemical Engineering. Mayo 18, 1981. McGraw Hill Inc. New York.
4. Marley Company. 1967. **Cooling Tower Fundamentals and Application Principles.** Marley Company. 1ra. Ed. Kansas City, Missouri.
5. Nordell, E. 1951. **Water Treatment for Industrial and other Uses.** Reinhold Publishing Corporation. 2da. Ed. New York.
6. Reeves, G. **Cooling Water Chemistry for plant Design.** Hydrocarbon Processing. Septiembre 1983. Gulf Publishing Co. Houston, Texas.
7. Silverstain, R. & S. Curtis. **Cooling Water.** Chemical Engineering. Agosto 9, 1971. McGraw-Hill Inc. New York.
8. Omega. **The flow and level handbook.** Volume 28. Omega Engineering, Inc. 1992. USA.
9. Crane Engineering Division. **Flow of fluids through valves, fittings and pipes.** Crane Co. Technical paper No. 410. 1969. Chicago, USA.
10. Betz. **Handbook of Industrial Water Conditioning.** Betz Laboratories, Inc. 8va. ed. Trevese, PA. USA

XII. ANEXO

DETERMINACION DEL CAMBIO DE TEMPERATURA (ΔT) MAXIMO

Las condiciones finales del vapor después de todas las etapas, es de vapor saturado a 2.5" Hg absolutas de presión. El calor latente de condensación a esta presión, es de 2,395 kJ/kg. Cuando estén llegando 68,182 kg de vapor/h (producción máxima de vapor) el calor entregado por el vapor para poder condensarse totalmente es:

$$Q = 68,182 \text{ kg/h} * 2395 \text{ kJ/kg} = 1.633 \times 10^8 \text{ kJ/h}$$

4,542,000kg/h de agua de enfriamiento, deben ser capaces de absorber ese calor. El ΔT resultante por esa transferencia de calor, está dado por:

$$\Delta T = Q / (\text{masa de agua} * C_p \text{ del agua})$$
$$\Delta T = 1.633 \times 10^8 \text{ kJ/h} / (4,542,000 \text{ kg/h} * 4.184 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}) = 8.6 \text{ }^\circ\text{C} (15.5 \text{ }^\circ\text{F})$$

Este mismo ΔT es lo que la torre de enfriamiento tendrá que enfriar el agua para mantener el sistema estable.

DETERMINACION DE CICLOS DE CONCENTRACION

Ciclos de concentración:

El contenido de sílice (30 ppm) del agua de reposición es considerable y según la literatura (3) el límite de concentración recomendable es de 150 ppm. Los sulfatos no presentan mayor problema (1 ppm), de modo que la sílice o el carbonato de calcio pueden ser el compuesto limitante. Los ciclos de concentración máximos respecto a sílice, están dados por la siguiente expresión:

$$\text{Ciclos de concentración} = \frac{\text{Concentración máxima permisible en el agua de recirculación}}{\text{Concentración del agua de reposición}}$$

Ciclos de concentración

$$\text{con sílice como limitante} = \frac{150 \text{ ppm}}{30 \text{ ppm}} = 5 \text{ ciclos}$$

Para determinar la limitación del sistema respecto a carbonato de calcio se usan los índices de Langelier y Ryznar.

EVALUACION DE INDICES

Los índices de Langelier y de Ryznar (de saturación y de estabilidad respectivamente) se basan en el pH de saturación, simbolizado por pH_s .

$$pH_s = 9.3 + A + B - C - D$$

Los valores para el agua, cuando tenga 5 ciclos de concentración son:

(Sólidos totales a 5 ciclos de concentración = Sólidos totales del agua de reposición * 5)

Sólidos totales: 415 ppm

Valor de **A**: 0.2

Temperatura: Una temperatura de Bulbo húmedo normal en el Ingenio Madre Tierra, es de 24 °C. Asumamos que el acercamiento del agua enfriada es de 4 °C y el intervalo es de 8.61 °C; de modo que la temperatura del agua caliente será de alrededor 37 °C.

Temperatura : 37 °C

Valor de **B**: 1.8

Dureza de calcio: 150 ppm

Valor de **C**: 1.8

Alcalinidad total : 160 ppm

Valor de **D**: 2.2

De modo que el pH_s para el agua a usar es:

$$pH_s = 9.3 + 0.2 + 1.8 - 1.8 - 2.2 = 7.3$$

El pH (real) a 5 ciclos de concentración fue de 7.9 (det. experimentalmente)

$$L.I. = pH \text{ (real)} - pH_s$$

$$L.I. = 7.9 - 7.3 = 0.6$$

$$R.I. = 2 pH_s - pH(\text{real})$$

$$R.I. = 2*7.3 - 7.9 = 6.7$$

Estos resultados indican que las aguas son bastante estables, con una pequeña tendencia a ser incrustante. Esto demuestra que el carbonato de calcio a 5 ciclos de concentración, no será nuestro mayor problema, sino la sílice.

DETERMINACION DE PURGA Y AGUA DE REPOSICION

Pérdidas:

$$\text{Por evaporación} = 0.08\% * \Delta T * \text{Vol. de agua de recirculación}, \quad (4)$$

donde ΔT esta expresado en $^{\circ}\text{F}$. Como $\Delta T = 8.61$ $^{\circ}\text{C} = 15.5$ $^{\circ}\text{F}$.

$$\text{Pérdidas por evaporación} = 0.0008 * 15.5 \text{ } ^{\circ}\text{F} * 20,000 \text{ GPM} = 248 \text{ GPM} = \mathbf{56.32 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$\text{Por brisa} = 0.1\% * \text{Vol. de agua de recirculación} \quad (4)$$

$$\text{Pérdida por Brisa} = 0.001 * 4542 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{4.542 \text{ m}^3/\text{h}} = 20 \text{ GPM}$$

Por Purga: La purga se puede determinar usando la fórmula siguiente:

$$C = \frac{E + P + B}{P + B}$$

donde: C = ciclos de concentración, E = pérdidas por evaporación, B = pérdidas por brisa y P = pérdidas por purga. Si despejamos y resolvemos para P la ecuación nos queda así:

$$P = [E / (C - 1)] - B$$
$$P = [56.32 \text{ m}^3/\text{h} / (5 - 1)] - 4.542 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{9.54 \text{ m}^3/\text{h}} = 42 \text{ GPM}$$

Agua de Reposición:

Para mantener la cantidad de agua en recirculación constante, se deben reponer las pérdidas:

$$\text{Agua de reposición} = \text{Evaporación} + \text{Purga} + \text{Brisa}$$

$$\text{Agua de reposición} = 56.32 \text{ m}^3/\text{h} + 9.54 \text{ m}^3/\text{h} + 4.542 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{70.4 \text{ m}^3/\text{h}} = 310 \text{ GPM}$$

DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPO

Sistema de Purga:

La conductividad del agua de reposición es de 100 micromhos. Con 5 ciclos de concentración, se espera que la conductividad alcance los 500 micromhos, sin embargo con el tratamiento químico, podría llegar hasta los 800 micromhos. El medidor controlador de conductividad, se dimensionará teniendo esto en cuenta.

- Medidor de Conductividad: Rango 0 - 2000 micromhos

Electrodo de acero inoxidable y PVC

- Válvula solenoide: Tamaño de purga máxima es de 9.54 m³/h (42 GPM)

Se purgará un tercio del tiempo de operación del sistema de modo que la válvula debe tener la capacidad de purgar:

$$9.54 \times 3 = 28.62 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (126 GPM)}$$

Para determinar el Cv (flujo másico, en libras, del fluido producido por un diferencial de presión, antes y después de la válvula, de 1 psi) y poder dimensionar la válvula solenoide usamos la siguiente fórmula: $C_v = Q (G/\Delta P)^{1/2}$ (8)

donde Q = flujo expresado en GPM, G = densidad relativa del fluido y ΔP = caída de presión a través de la válvula (en psi). La línea de agua caliente de donde se tomará la purga, tiene una presión de 15 psig y la purga, descarga al ambiente, de modo que $\Delta P = 15$ psi. Asumiendo que la gravedad específica del agua es de 1.0, tenemos:

$$C_v = 126 (1.0 / 15)^{1/2} = 32.5$$

En el manual omega (8) podemos ver que una válvula solenoide de 2 vías, de cuerpo de acero inoxidable y bronce, de 2 pulgadas NPT y normalmente cerrada tiene un Cv de 38, de modo que esta válvula cumple con nuestras necesidades.

Sistema de aplicación de químicos:

La cantidad de producto que se aplicará, según el proveedor, se determina por la siguiente fórmula:

$$\text{kg de Químico/día} = \frac{(\text{Purga kg/día}) \times (\text{Conc. del químico})}{1,000,000}$$

* El proveedor recomienda la concentración del químico a 150 ppm

$$\text{kg de Químico/día} = \frac{229,000 \text{ kg/día} \times 150 \text{ ppm}}{1,000,000} = 34.35 \text{ kg/día}$$

La densidad relativa del producto químico es de 1.05 de modo que el volumen de químico/día es de 36.07 l/día (9.53 GPD). Con una bomba dosificadora de 90.84 l/día (24GPD) antisifón, que trabaje contra una presión máxima de 100 psi se estarían cubriendo las necesidades de bombeo. Sin embargo, semanalmente se tendrán que dosificar 23.2 litros de Gescocide 52 los cuales se tienen que aplicar lo más rápido posible (sin sobrepasar los 40 ppm). Debido a esto, se adquirirá una bomba dosificadora de 60 GPD.

La cantidad de Gescocide 52 a usar semanalmente está dada por:

Volumen total de agua del sistema = 567,750 litros (150,000 gpm)

Litros de Gescocide 52 = $(567,750 \text{ litros} * 40 \text{ mg/l}) / (10^6 * 0.98) = 23.2 \text{ litros/semana}$

La cantidad de hipoclorito de sodio al 12% a usar está dada por:

Si se bombean 75,700 l/min significa que en 7.5 minutos el sistema se recirculó totalmente: $(567,750 \text{ l}) / (75,700 \text{ l/min}) = 7.5 \text{ min.}$

Para conseguir 1 ppm en el agua se tiene que dosificar:

$(75,700 \text{ l/min} * 1 \text{ mg/l}) / (10^6 * 0.12) = 0.631 \text{ kg/min}$

$0.631 \text{ kg/min} * 67.5 \text{ min} = 42.58 \text{ kg de hipoclorito de sodio al 12\%/aplicación semanal}$

(Se aplica durante 67.5 min. porque toma 7.5 minutos para que teóricamente toda el agua del sistema tenga 1 ppm de cloro residual o libre)

Sistema de agua de reposición:

Se necesita bombear 70.4 m³/h (310 GPM) del reservorio de la toma de Xata hasta la torre de enfriamiento.

En el ingenio se contaba con una tubería de acero de 3" la cual, de ser posible, se debía usar. Se verifica si es factible su uso:

Area transversal de 3" cédula 40 = 0.05130 ft²

Velocidad = Flujo / Area

$(5.16 \text{ gal/s} * (1 \text{ ft}^3/7.49 \text{ gal})) / (0.05130 \text{ ft}^2) = 13.44 \text{ ft/s}$

Esta velocidad del agua aunque un poco alta todavía, está dentro de los parámetros aceptables, de modo que se usará la tubería de 3".

Según el plano que se trazó, la altura entre el nivel del reservorio y el depósito de la torre de enfriamiento es de 6.1 metros (20 pies) . La distancia lineal de la tubería es de 21.34 m (70 pies). Los accesorios que lleva la tubería con sus respectivas distancias equivalentes en pies, son (9):

4 Válvulas de Compuerta	4 c/u	6.8 pies
11 codos	8.1 c/u	89.1 pies
1 cheque	20 c/u	20 pies
3 té	17 c/u	51 pies
		TOTAL 166.9 pies

166.9 pies + 70 pies = 236.9 pies equivalentes

En las hojas técnicas de flujos de fluidos de la compañía Crane se encuentra que para una tubería de 3" en la cual fluyan 325 GPM el ΔP por cada 100 pies de distancia equivalente, es de 9.89 psi (9). De modo que la caída de presión dentro del sistema será de:

$$236.9 \text{ pies}/100\text{pies} * 9.89 \text{ psi} = 23.34 \text{ psi}$$

$$23.34 \text{ psi} * (2.31 \text{ ft de agua}/1 \text{ psi}) = 53.9 \text{ pies}$$

La carga hidrostática total (Ht) es: 53.9 pies + 20 pies = **73.9 pies**

Para darnos un margen de seguridad, asumamos que la bomba maneja 350 gpm, La potencia necesaria está dada por (9):

$$P(\text{en hp}) = \frac{(\text{Flujo en gpm}) * (\text{Ht en pies}) * (\text{gravedad específica del fluido})}{3,960 * (\text{eficiencia de la bomba})}$$

Asumiendo una eficiencia de la bomba de 0.7, la potencia necesaria es:

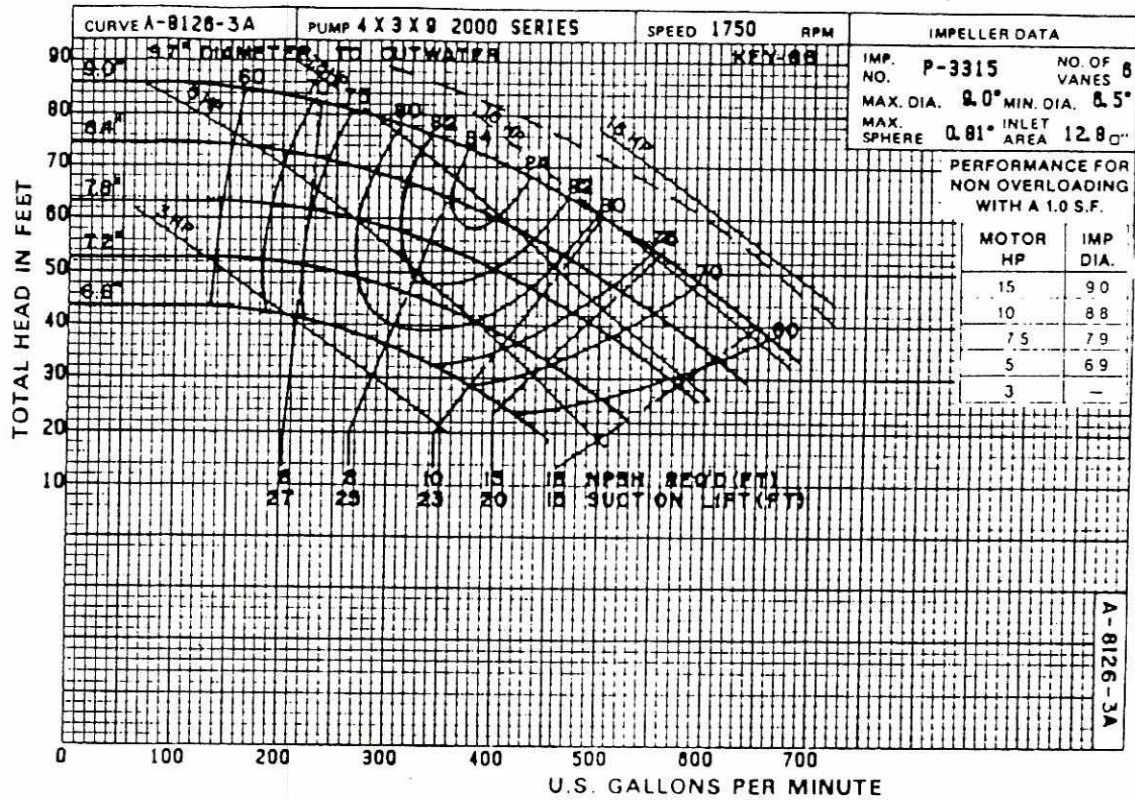
$$P = (350 * 73.9 * 1.0) / (3,960 * 0.7) = \mathbf{9.33Hp = 6.94 Kwatios}$$

Para seleccionar la bomba se escoge una bomba ITT por los buenos resultados obtenidos anteriormente al trabajar con ellas. Se escoge de 1750 rpm por ser convencionales. En un manual de curvas de bombas de la empresa ITT se encuentra una bomba con un flujo de 1325 l/min (350 gpm) contra una cabeza de 23 m. (75 pies) y un impulsor de 22.86 cm. (9") que nos da una eficiencia de bomba de 0.83 y se necesita un motor de 6.71 Kwatios (9 hp). Se selecciona dicha bomba pero con un motor de 7.46 Kwatios (10 hp), el rodete de acero y la carcasa de hierro. A continuación se muestra la curva de funcionamiento de dicha bomba.

Bombas A - C ITT

Curvas de funcionamiento - Series 2000 - 1750 rpm
Simple etapa, rodete cerrado - bombas acopladas o enmarcadas
con sellos mecánicos o empaquetadura

Supersedes all previous issues



El sistema de agua de reposición, necesita control automático para mantener el nivel. Esto lo conseguiremos con una celda de presión diferencial (PD). El tanque donde haremos la medición, es el tanque de succión de las bombas de enfriamiento. Este tanque tiene una altura de 3 metros (10 pies). Es recomendable poner la celda de PD medio metro arriba del tanque, para evitar que los posibles sedimentos lleguen y tapen la brida de la celda. Colocándola de esta manera, una celda de PD con rango de nivel de 0 - 3 metros (0 - 120 pulgadas) cumplirá con la aplicación. La conexión de alta presión, se conecta al tanque y la parte de baja presión se coloca a la atmósfera. La conexión (brida) puede ser de 1/2.

La señal será recibida por un indicador Digital (colocado en el edificio de turbogeneradores) que tendrá un set point definido (90% del nivel del tanque). Al bajar de este set point el indicador mandará una alarma que cerrará el circuito de paso de corriente al arrancador del motor de las bombas de reposición. Este arrancador también estará colocado en el edificio de turbogeneradores.

DETERMINACION CUANTITATIVA DE SILICE EN AGUA DE ENFRIAMIENTO (10)

Teoría

Sílice en la forma simple de silicato, SiO_3^{-2} , reacciona con ácido molíbdico para formar el complejo sílico-molibdato, de color amarillo, seguido por la reducción al molibdato de color azul. Esto es medido a 640 nm por un fotómetro de filtro. Interferencia de los fosfatos es eliminado por la adición del ácido oxálico.

Aparatos necesarios

Fotómetro de filtro con su respectiva cristalería.

Soluciones requeridas

Solución de Molibdato de amonio: Disuelva 25 g de $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ en 175 ml de agua desionizada. Por otra parte, con mucho cuidado, agregue 280 ml de H_2SO_4 concentrado a 400 ml de agua desionizada. Enfríe esta solución y agregue la otra solución. Afore a un litro con agua desionizada.

Solución de ácido clorhídrico al 2% (vol.): Agregue 20 ml de ácido concentrado a 800 ml. de agua desionizada. Afore a 1 L con agua desionizada.

Soución de Sulfito de Sodio: Agregue 170 g. de sulfito de sodio (Na_2SO_3) a 800 ml de agua desionizada y afore a 1 L con agua desionizada.

Solución estándar de Sílice: Agregue 4.74 g. de $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ a 800 ml de agua desionizada. Afore a 1 L con agua desionizada. Esta solución tiene 1000 ppm como SiO_2 .

Procedimiento

Este procedimiento usa una lectura fotométrica a una longitud de onda de 640 nm con una celda de 10 mm de espesor. Prepare una curva de calibración para el fotómetro, usando diluciones sucesivas de la solución estándar de sílice de modo que cubre el rango esperado de la prueba (0 - 50 ppm). El tratamiento de los estándares debe ser exactamente el mismo que el descrito para las diluciones de las muestras de agua.

Tome 50 ml. de la muestra de agua y afores a 200 ml con agua desionizada.

Pipetee una alícuota de 2 ml. de la muestra diluida a cada uno de 2 matraces. Al primer matraz agregue 5 ml de ácido clorhídrico, 13 ml. de agua desionizada y 10 ml de solución de sulfito de sodio. Calibre a 0 el fotómetro con ésta solución. Al segundo matraz, agregue 8 ml de agua desionizada, 5 ml de ácido clorhídrico y 5 ml de la sol. de molibdato de amonio. Agite el matraz y espere 3 minutos. Después, agregue 10 ml de sol. de sulfito de sodio y espere exactamente 3 minutos antes de leer la absorbancia en el fotómetro.

Cálculo de Resultados

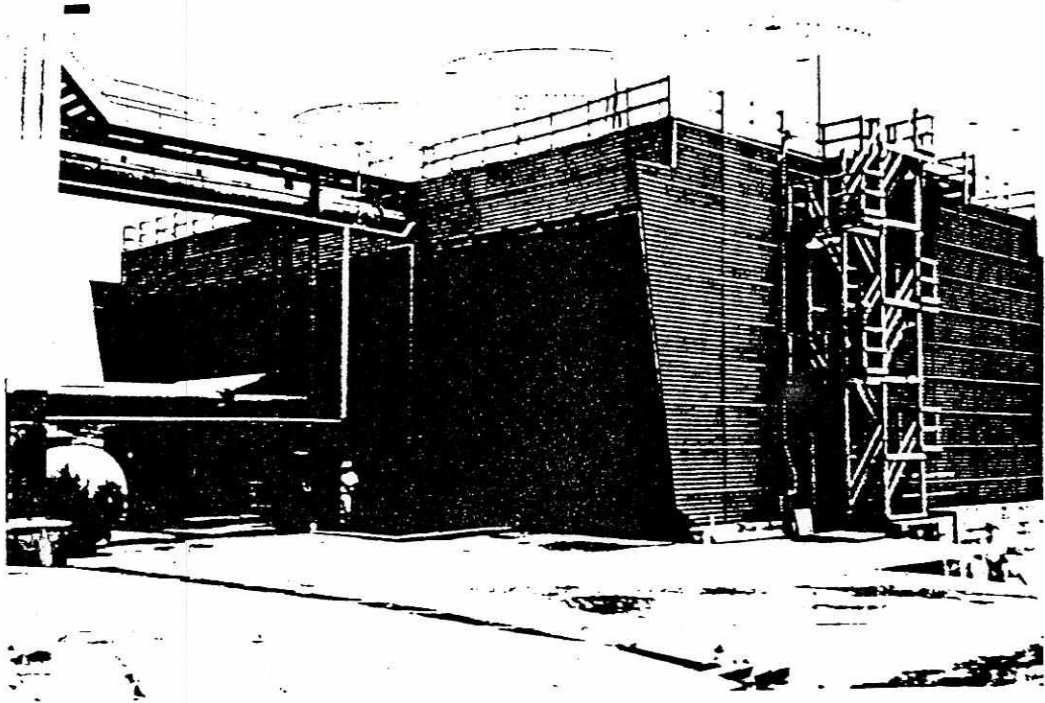
Usando como referencia la curva de calibración de sílice, encuentre la concentración de sílice en ppm de la dilución de la muestra. La concentración de sílice de la muestra está dada por :

$$\text{Conc. de sílice de muestra (ppm)} = \text{ppm de dilución} \times 4$$

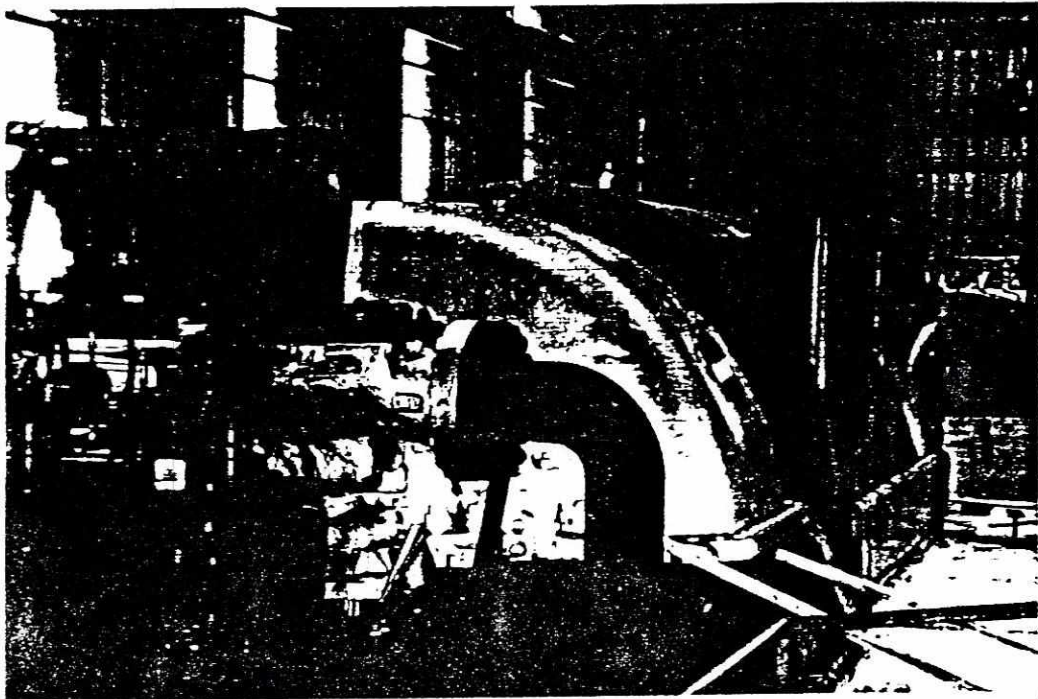
HOJA DE CONTROL TORRE DE ENFRIAMIENTO

Fecha: _____			Nivel del tambo: _____		
TURNO	Conductividad del controlador (micromhos)	Conductividad del laboratorio (micromohs)	Silice (ppm)	Comentario	Analista
1					
2					
3					
Fecha: _____			Nivel del tambo: _____		
TURNO	Conductividad del controlador (micromhos)	Conductividad del laboratorio (micromohs)	Silice (ppm)	Comentario	Analista
1					
2					
3					
Fecha: _____			Nivel del tambo: _____		
TURNO	Conductividad del controlador (micromhos)	Conductividad del laboratorio (micromohs)	Silice (ppm)	Comentario	Analista
1					
2					
3					

***INSTALACION DEL SISTEMA DE
TRATAMIENTO QUIMICO***



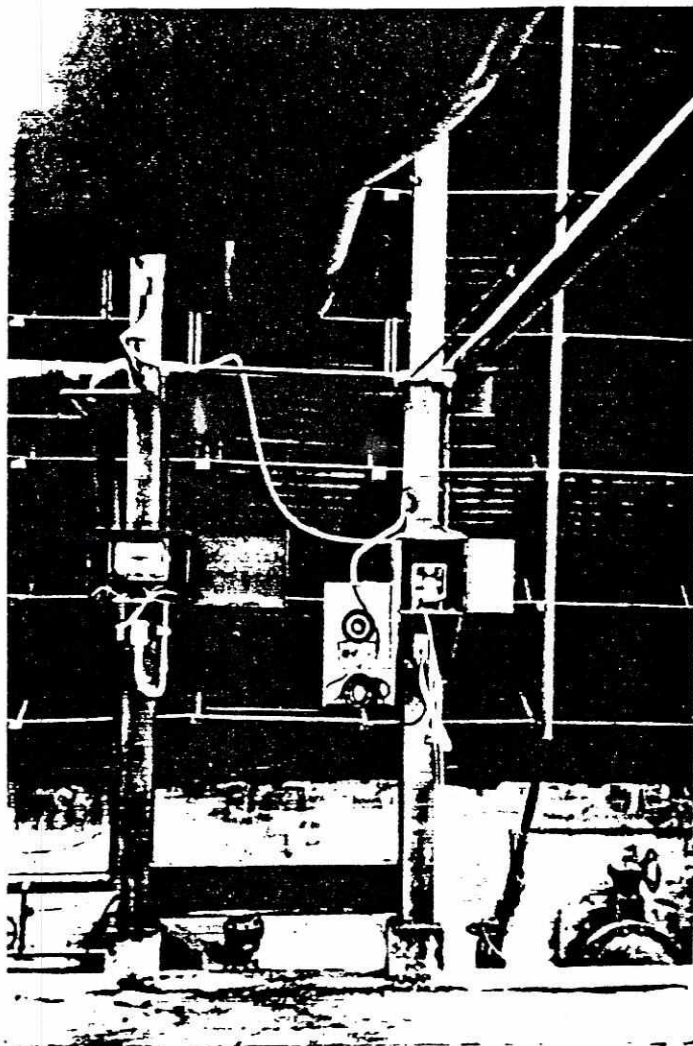
VISTA DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE 4,542 m³/h (20,000 gpm)



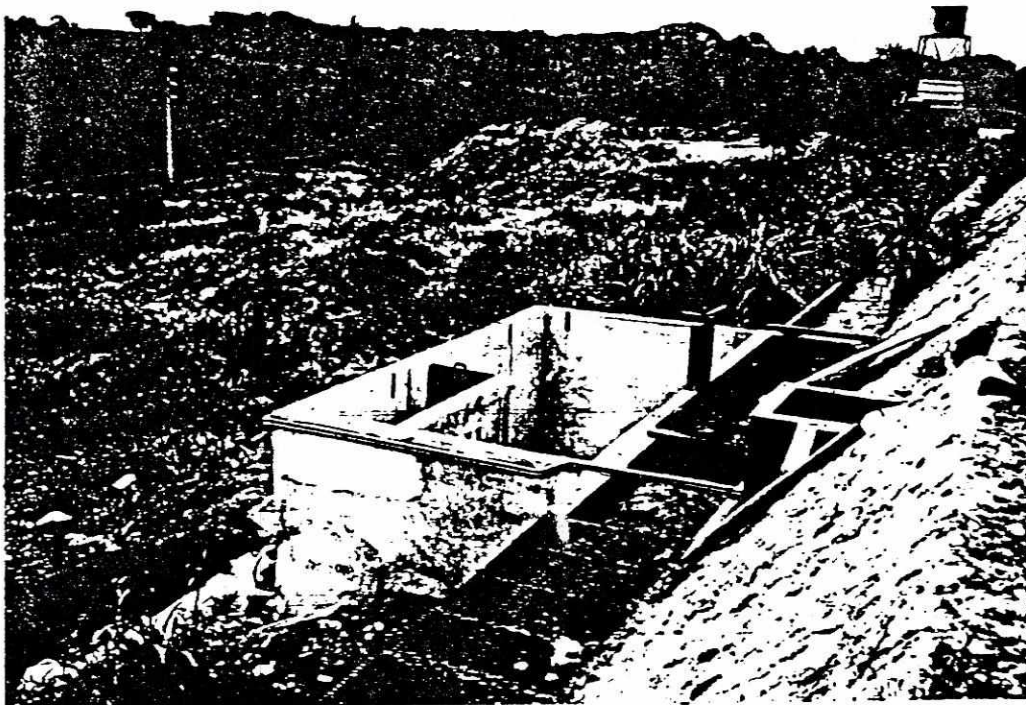
TURBOCONDENSADOR DE 15 Mvatios



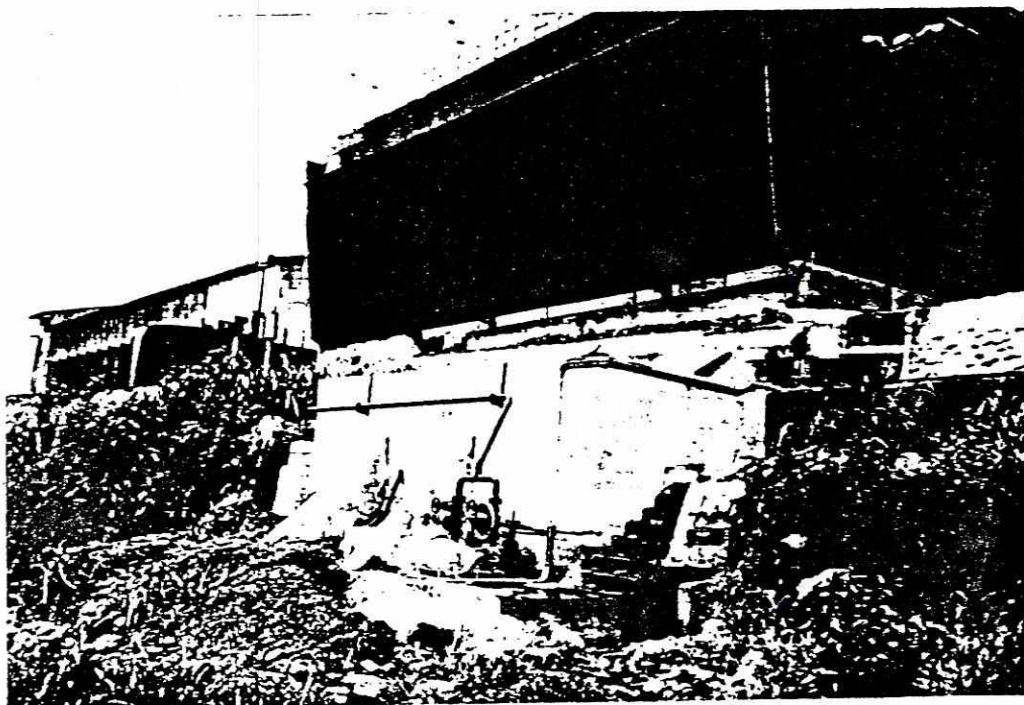
ENTRADA Y SALIDA DE AGUA AL CONDENSADOR



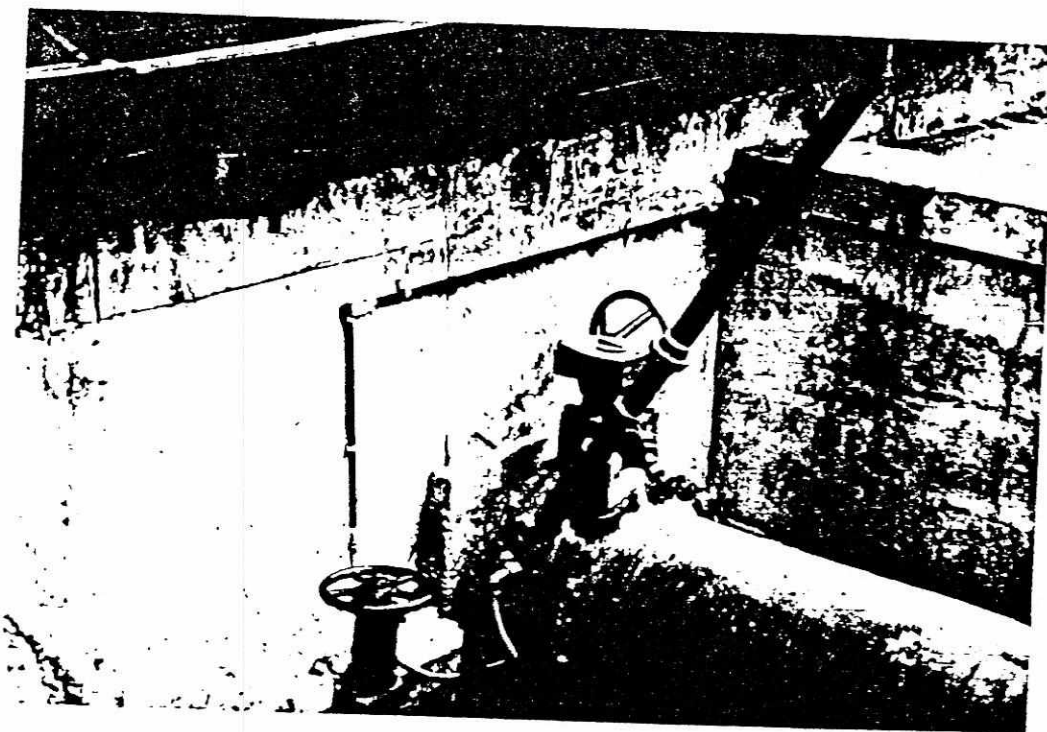
CONTROLADOR Y LINEA DE MUESTREO DE CONDUCTIVIDAD, BOMBA
DOSIFICADORA DE PRODUCTOS QUIMICOS Y LINEA DESCENDIENTE DE PURGA.



TOMA DEL RIO XATA Y TANQUE DESARENADOR DEL AGUA DE REPOSICION



BOMBAS Y LINEA DE AGUA DE REPOSICION



ACERCAMIENTO DE LA VALVULA SOLENOIDE Y LINEA DE PURGA



ACERCAMIENTO DEL RELLENO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO