

Universidad Nacional de Ingenieria
Facultad de Ingenieria de Petroleo



Nuevo Sistema de Enfriamiento con Empleo de
Agua Destilada y Alta Tasa de Relacion de
Concentracion Aplicada a la Planta Fertilizantes

TESIS

Para Optar El Titulo Profesional De

INGENIERO PETROQUIMICO

Bemardino Hermes Retamozo Bernal

Lima – Peru

1991

SUMARIO

El objetivo de este trabajo es mostrar los criterios técnicos y económicos seguidos por la Planta de Fertilizantes de Talara para modificar su sistema de agua de enfriamiento, haciéndolo más eficiente en la prevención de la corrosión de sus equipos, y logrando un ahorro considerable en el consumo de agua destilada y productos químicos para el tratamiento; mediante una reducida inversión en la adquisición de nuevos equipos.

Técnicamente este estudio posee características especiales por cuanto la aplicación del tratamiento químico al sistema de enfriamiento con agua destilada, reviste caracteres inéditos en esta área; debido a que en general los estudios y aplicaciones de los tratamientos químicos están orientados al empleo de agua de río o de pozos en los sistemas de enfriamiento de las plantas industriales.

El alcance de este estudio permitirá una mayor orientación a todos aquellos que deseen conocer en detalle los problemas y soluciones del tratamiento químico de los sistemas de agua de enfriamiento, que se constituyen en un área vital dentro de los servicios industriales de una planta química, petroquímica o refinería de petróleo.

INDICE

SUMARIO

CAPITULO I - ANTECEDENTES

CAPITULO II - INTRODUCCION

2.1 Objetivo del Estudio

2.2 Descripción de la Planta de Fertilizantes

CAPITULO III A - LOS SISTEMAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO Y SU CLASIFICACION

B - SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO DEL TIPO RECIRCULACION ABIERTA.

1. La Torre de enfriamiento

2. El balance de agua del sistema de enfriamiento con recirculación.

C - PROBLEMAS Y PRODUCTOS QUIMICOS PARA EL TRATAMIENTO

1. La corrosión y los inhibidores de corrosión

1.1 La corrosión

1.2 El mecanismo de corrosión

1.3 Factores que influyen la tasa de corrosión

1.3.1 Sales disueltas

1.3.2 Oxígeno disuelto y temperatura del agua

1.3.3 pH

1.3.4 Velocidad del flujo de agua

1.3.5 Depósitos

1.3.6 Par galvánico

1.3.7 Esfuerzos

1.4 Inhibición de la corrosión

- 1.5 Clasificación de los inhibidores de corrosión
2. El problema de la lama (slime) y su tratamiento químico
 - 2.1 El problema de la lama
 - 2.2 Formación de la lama
 - 2.3 Mecanismo de la formación de la lama
 - 2.4 Factores que influyen en la formación de la lama
 - 2.4.1 Temperatura del agua
 - 2.4.2 pH
 - 2.4.3 Nutrientes
 - 2.4.4 Oxígeno disuelto
 - 2.5 Inhibidores de lama
 - 2.5.1 Tratamiento germicida
 - 2.5.2 Prevención de la adhesión de la lama
 - 2.5.3 Filtración
 - 2.6 Especificación de los inhibidores de lama
3. El problema de las incrustaciones y sus inhibidores
 - 3.1 El problema de las incrustaciones
 - 3.2 La formación de la incrustación
 - 3.3 El mecanismo de la formación de la incrustación
 - 3.4 Factores que afectan la formación de la incrustación
 - 3.4.2 pH
 - 3.4.3 La temperatura del agua y la transferencia de calor en el intercambiador
 - 3.4.4 La velocidad de flujo del agua
 - 3.4.5 Las sales disueltas

3.5 Los métodos de inhibición de las incrustaciones

3.5.1 Ajuste de los ciclos de concentración

3.5.2 Ajuste del pH del agua con ácido

CAPITULO IV - HISTORIA DEL TRATAMIENTO QUIMICO DEL AGUA EN EL SISTEMA ORIGINAL DE LA PLANTA DE FERTILIZANTES

4.1 Sistema de Agua de Enfriamiento Original

4.1.1 Descripción del sistema

4.1.2 Balance de agua y productos químicos

4.1.3 Análisis Químico del agua de reposición y recirculación.

4.1.4 Historia del Tratamiento Químico del Agua en el Sistema Original. Resultados obtenidos.

4.1.5 Costo del Tratamiento Químico.

4.2 Nuevo Sistema de Agua de Enfriamiento

4.2.1 Descripción del nuevo sistema

4.2.2 Balance de agua y productos químicos

4.2.3 Evaluación de tratamientos químicos empleados en el nuevo sistema

4.2.3.1 Experiencia de Tratamiento Químico con la firma "K".

4.2.3.2 Experiencia de Tratamiento Químico con la firma "N".

4.2.4 Costo del Tratamiento Químico en el Nuevo Sistema.

4.2.5 Evaluación de Resultados en el
Nuevo Sistema.

CAPITULO V - EVALUACION ECONOMICA

5.1 Rentabilidad, Tasa Interna de Retorno
(TIR)

5.2 Tiempo de Recuperación de la Inversión

5.3 Valor Actual Neto (VAN)

CAPITULO VI - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO VII - BIBLIOGRAFIA

CAPITULO VIII - ANEXOS

CAPITULO I

ANTECEDENTES

A consecuencia de la situación de emergencia generada por el "Fenómeno del Niño" en la zona norte del país, que produjo fuertes lluvias e inundaciones en el primer semestre del año 1983, ocurrieron graves daños en las instalaciones industriales de Petroperú en Talara. La Refinería de Petróleo tuvo que salir fuera de servicio debido a la falta de agua de uso industrial, al sufrir serias averías el acueducto del Eje Paíta-Talara y no encontrarse en condiciones operativas el antiguo acueducto Portachuelo-Talara.

La Refinería de Talara estuvo cerca de tres meses fuera de servicio y es muy conocida su importancia a nivel país, por el suministro de combustibles a toda la actividad industrial. Por este motivo, la primera prioridad para el arranque de las unidades y plantas era para la Refinería y por lo tanto todas las unidades productivas debían postergar su puesta en operación en beneficio de ésta.

Luego de culminarse en el mes de Junio-83 con la primera etapa de los trabajos de rehabilitación de la Planta Fertilizantes, se puso en servicio la Planta Desalinizadora de Agua de Mar iniciándose el suministro de agua destilada a la Refinería por medio de camiones cisternas.

En Julio-83 la Refinería instaló un acueducto provisional para transportar el agua destilada desde la Planta Fertilizantes hasta sus Patio de Tanques, y se inició por primera vez el suministro por bombeo en un rango de flujo de 50 á 85 m³/hr., con un promedio de 70 m³/hr. Cabe señalar que el diseño original de la Planta Fertilizantes consideraba que toda la producción de la Planta Desalinizadora era exclusivamente para su consumo, no existiendo excedentes para otros usuarios.

En Noviembre-83 se presentó el problema crucial: La Planta de Fertilizantes había quedado completamente rehabilitada y estaba lista para entrar en producción. De otro lado, la Refinería solo había solucionado parcialmente su problema de suministro de agua dulce del Eje Paíta-Talara y necesitaba continuar recibiendo el agua destilada de la Planta de Fertilizantes.

Ante esta situación se efectuó un balance de consumo y producciones de agua destilada entre Fertilizantes y la Refinería, que permitiera el funcionamiento de ambas unidades productivas.

Fue en ese momento que la Planta de Fertilizantes, gracias al presente estudio que permitió modificar su Sistema de Agua de Enfriamiento, redujo su consumo total de agua destilada de 110 m³/hr a 70 m³/hr y empezó a producir úrea procesando hasta una carga de 70 %.

Posteriormente FRT tuvo que subir su carga hasta 100 %, con lo cual incrementó su consumo de agua destilada llegando a un valor óptimo de 80 m³/hr. De esta manera el excedente de 30 m³/hr de agua destilada comenzó a ser enviado en forma continua a la Refinería Talara; a través de un nuevo acueducto de 6" de diámetro, instalado específicamente para este servicio. En la Refinería Talara el agua destilada se utilizó para la generación de vapor de alta presión para la Unidad de Craqueo Catalítico.

Después de 6 años de operación con que cuenta el sistema antes descrito, podemos decir que el proyecto ha sido todo un éxito para la empresa Petróleos del Perú, tanto en el aspecto técnico como en el económico.

Debido que a nivel país solo existen 3 plantas más de Desalinización del Agua de Mar, dos pertenecientes a la Southern Copper Corp. y una a Minero Perú, las tres ubicadas en el Puerto de Ilo (Moquegua) y dirigidas a la industria metalúrgica; se considera que el sistema instalado por Petroperú en el Noroeste es único en su

género y se constituye en una propuesta muy interesante para los futuros complejos industriales que se instalen en la costa, cerca al litoral, y donde no exista agua dulce (de río o pozo), en cantidad y calidad adecuada para su uso industrial.

CAPITULO II

INTRODUCCION

Toda planta industrial que cuenta con procesos químicos que incluyen la transferencia de calor entre los fluidos, requiere en menor o mayor medida del agua como medio refrigerante de los equipos de intercambio de calor.

La Planta de Fertilizantes de Talara contó desde su arranque inicial con un Sistema de Agua de Enfriamiento que empleaba agua destilada en recirculación, la cual estaba acondicionada con productos químicos para favorecer su tratamiento contra la corrosión y el deterioro de los equipos.

A consecuencia de la necesidad de agua para uso industrial en la Refinería Talara, apareció un nuevo desafío para la Planta de Fertilizantes consistente en la reducción de su consumo original de agua destilada; sin que ésta afecte su capacidad de producción ni ponga en riesgo la condición operativa y mecánica de los equipos.

Se revisaron todas las áreas de consumo de agua destilada en la Planta, y de ellas sólo una; la del Sistema de Agua de Enfriamiento, logró ser rediseñada con el consiguiente ahorro en su demanda diaria de agua destilada.

El estudio del sistema para su rediseño permitió conocer en detalle las características típicas del mismo, y sugerir las medidas correctivas a problemas técnicos que habían venido generando deterioros en los equipos críticos del sistema.

La difusión de este estudio permitirá una mayor orientación a todos aquellos que desean conocer en detalle los problemas del tratamiento químico de los sistemas de agua de enfriamiento, así como sus soluciones, debido a que técnicamente este estudio reúne características inéditas por tratarse de la aplicación del tratamiento químico a un sistema de enfriamiento que

emplea agua destilada, situación no muy común, por cuanto en general los estudios y aplicaciones de los tratamientos están orientados a sistemas que utilizan agua de río o de pozo; las cuales son de una calidad muy diferente a la del agua destilada.

2.1 Objetivo del Estudio

El objetivo de este estudio es mostrar los criterios técnicos y económicos desarrollados por la Planta de Fertilizantes de Talara en el rediseño de su Sistema de Agua de Enfriamiento, convirtiéndolo en un sistemas más eficiente en la prevención de la corrosión de sus equipos, que igualmente ha permitido obtener un ahorro significativo de 30 m³/hr en el consumo de agua destilada, así como de productos químicos para el tratamiento; consiguiendo todo ello mediante una reducida inversión en la adquisición de nuevos equipos de bombeo y construcción de obras civiles, pero con una especial dedicación en las pruebas de campo y laboratorio que sirvieron para comprobar la factibilidad del proyecto.

2.2 Descripción de la Planta de Fertilizantes

La Planta de Fertilizantes fue construida en el período 1,973-1,975 por un consorcio de firmas japonesas comandadas por la Toyo Engineering Corp. gracias a un sistema de financiamiento facilitado por el Gobierno del Japón al Estado Peruano.

La Planta fue diseñada para producir úrea agrícola empleando como materia prima el gas natural de los campos petrolíferos de Talara, y generando como productos intermedios el amoníaco anhidro y el dióxido de carbono.

La Planta de Fertilizantes ha sido instalada para producir 510 TM de Urea por día y toda su producción está dirigida a cubrir la demanda del agro nacional. La planta inició sus operaciones en el mes de Febrero de 1,975.

Seguidamente una descripción de las plantas que conforman el inicialmente denominado Complejo de Fertilizantes. En los Anexos N° 1-6 se muestran los planos originales del Complejo donde se describen las diferentes áreas de las Plantas.

2.2.1 Planta de Amoníaco

La planta de amoniaco está diseñada para producir 300 TM/día de amoniaco en operacion normal y continúa durante 24 horas del día.

Esta planta consta de 5 etapas de proceso principales :

- Preparación de Gas de Síntesis
- Purificación
- Compresión
- Síntesis de Amoníaco
- Refrigeración

A continuación se describe cada una de estas etapas.

2.2.1.1 Preparación de Gas de Síntesis

El gas de materia prima, es primero precalentado para luego pasar a través de un catalizador de ZnO a fin de ser desulfurado. El gas desulfurado se combina con vapor precalentado y luego es introducido en los tubos del Reformador Primario (AD-101). En el Reformador Primario el gas natural da lugar a la formación de H₂ y CO debido

a la reacción con el vapor. El calor requerido para la reacción endotérmica es obtenido de la combustión de otra corriente de gas natural (menos rico en CH_4) y un gas de purga.

El gas reformado caliente que se retira del Reformador Primario, es luego mezclado con aire comprimido caliente (la mezcla se prepara para la relación molar $\text{N}_2 : \text{H}_2 = 1:3$) para luego pasar al Reformador Secundario (Ah-101) donde parte del gas de proceso combustiona y oxida para proveer el calor de reacción requerido.

2.2.1.2 Purificación

La primera etapa de purificación del gas reformado se lleva a cabo en los convertidores de CO donde se produce una reacción catalítica de CO y vapor, conocida como reacción de gas - agua, que produce H_2 y CO_2 .

El gas convertido es luego enviado a la Sección Remoción de CO_2 para la segunda etapa de purificación. Aquí casi todo el CO_2 es absorbido por la solución Catacarb en la Torre Absorbedora (AF-451). En la Torre de Regeneración (AF-452) se produce la regeneración de la solución Catacarb, la cual libera el gas de CO_2 , que luego es enviado como carga a la Planta de Urea.

El gas descarbonizado es enviado al Metanador (AH-104) para su purificación final, y aquí el CO y CO_2 remanente son convertidos a CH_4 por medio de una

reacción catalítica con el H₂ que lleva el gas de proceso, para luego ser enviado a la siguiente etapa de compresión.

Tanto a la salida del Reformador Secundario como del Convertidor Primario de CO (AH-102), se recupera la mayor cantidad de calor del proceso y se emplea para generar vapor en las calderetas, que luego se usa en otros procesos de la planta.

2.2.1.3 Compresión

En la sección compresión el gas reformado y purificado es primero comprimido de 23.5 Kg/cm² hasta la presión de reacción de síntesis de 358 Kg/cm², y luego es enviado al Convertidor de Amoníaco (AH-701).

El gas de síntesis no reaccionado es comprimido nuevamente a la presión de reacción por un Compresor de Recirculación (AK-603), y luego es devuelto al Convertidor de Amoníaco.

En la sección Compresión también se encuentra instalado el Compresor de Aire (AK-602) que suministra este fluido para el proceso de oxidación que ocurre en el Reformador Secundario. Parte del aire del Compresor AK-602 es empleado para accionar los instrumentos neumáticos de toda la planta.

Todos los compresores son energizados por medio de motores eléctricos.

2.2.1.4 Síntesis de Amoníaco

En el sistema de síntesis de amoníaco, una mezcla de gas de reposición y gas reciclado es enviado a través del intercambiador en frío (AE-707) en donde se separa la corriente de amoníaco líquido del gas de síntesis (N_2 y H_2), y luego este gas es enviado al Convertidor de Amoníaco (AH-701), donde se produce la reacción de síntesis a una presión de 340 kg/cm^2 .

En el Convertidor parte del H_2 y N_2 reaccionan exotérmicamente con el catalizador de fierro y producen el amoníaco.

Después de pasar a través del Convertidor, parte de los gases de amoníaco son condensados y el gas remanente es retornado a través del Compresor de Recirculación de gas (AK-603).

El amoníaco condensado (producto) es separado de los gases no convertidos y enviado a los tanques de almacenamiento.

2.2.1.5 Refrigeración

El amoníaco líquido se emplea como medio refrigerante en la sección Síntesis para condensar el amoníaco gaseoso que circula en el sistema de gas sintetizado. El amoníaco líquido es vaporizado en el Condensador Enfriador de Amoníaco (AG-709) y comprimido en el Compresor de Refrigeración (AK-604),

para luego ser enfriado y licuado y posteriormente volver a ser empleado.

El gas de desfogue y de purga de la Sección Síntesis es usado como gas combustible en el Reformador Primario pero antes son pretratados por condensación y separación, empleando amoníaco líquido a fin de recuperar el amoníaco que contiene.

El amoníaco refrigerante que se emplea en este sistema, es previamente comprimido por un compresor de refuerzo (AK-902) a la presión de succión del Compresor de Refrigeración principal (AK-604).

2.2.2 Planta de Urea

La capacidad de diseño de la planta es de 510 TM/día, y emplea para la fabricación de úrea el amoníaco y dióxido de carbono de la Planta de Amoníaco y una corriente de CO₂ (es el 10% de la carga de la Planta de Urea) de los Calderos de la Planta de Servicios Auxiliares.

La Planta de Urea consta de cuatro secciones :

- a. Síntesis
- b. Purificación y Cristalización
- c. Granulación
- d. Recuperación

2.2.2.1 Sección Síntesis

La sección Síntesis es resumida en los siguientes equipos : Compresor de CO_2 (U-GB-101), bombas de Alimentación de Amoníaco Líquido (U-GA101), bomba de Solución de Reciclo (U-GA-102), Precalentadores de Amoníaco (U-EA-101, 102) y Reactor de Urea (U-DC-101). La Síntesis de Urea se realiza en un reactor cilíndrico vertical mediante la reacción del amoníaco con el anhídrido carbónico y una solución de reciclo; sometidas estas tres corrientes a una elevada presión y moderada temperatura.

El anhídrido carbónico es presurizado a 260 Kg/cm^2 antes de ser introducido al reactor.

El amoníaco líquido es calentado en los precalentadores de amoníaco hasta $80 \text{ }^\circ\text{C}$ a fin de mantener la temperatura normal de operación del reactor.

Las condiciones de operación del reactor son 250 Kg/cm^2 , y un perfil de temperaturas de 185 á $200 \text{ }^\circ\text{C}$ (fondo y tope respectivamente), con una relación molar de los reactantes de $4/1$ (NH_3/CO_2). Estas condiciones han sido seleccionadas para obtener una conversión de 72% al menor costo operativo.

A la salida del reactor una mezcla de úrea, carbamato de amonio, exceso de amoníaco (usado para acelerar la reacción de síntesis) y agua, son

reducidas en su presión (de 250 a 17.5 kg/cm²) y enviados a la sección Purificación.

2.2.2.2 Sección Purificación y Cristalización

La Sección Purificación está compuesta por el Descomponedor de alta presión (UDA-202), Descomponedor de baja presión (UDA-203), Separador de gas (UDA-204) y Cristalizador (UFA-201). En esta sección, el carbamato de amonio no convertido y el exceso de amoníaco son descompuestos y separados de la solución de Urea a través de una etapa de reducción de presión y calentamiento.

El descomponedor de alta presión opera a 17 Kg/cm² y a 165 °C, donde casi todo el exceso de amoníaco es separado y un 95% del carbamato de amonio es descompuesto en sus reactantes (NH₃ y CO₂). El gas separado es enviado al Absorbedor enfriador de alta presión (UEA-401) y la solución de úrea es enviada al Descomponedor de baja presión, el cual opera a 2.5 Kg/cm² y 115 °C. Aquí todo el carbamato de amonio remanente es descompuesto y los gases son separados de la úrea y enviados al Absorbedor de baja presión (UEA-402).

Luego la solución de úrea del Descomponedor de Baja Presión es enviada al Separador de Gas (U-DA204), el cual opera a presión atmosférica y a 92 °C. Aquí el remanente de amoníaco es

separado por medio de un despojamiento con aire que se inyecta por el fondo y la solución de úrea, con aproximadamente 75% de concentración, es enviada al Cristalizador. El gas separado es enviado al Condensador de Gas de Desecho (UEA-406).

En la parte superior del Cristalizador opera un Concentrador a una presión de vacío de 72.5 mm Hg abs. y en él se evapora el agua facilitando la concentración de la solución de úrea.

En la parte inferior se forman y desarrollan los cristales de úrea, dando lugar a la formación del "lodo de úrea" ("slurry").

El calor de absorción del Absorbedor-Enfriador de alta presión (U-EA401) es utilizado en esta etapa como calor de evaporación del agua contenida en la solución de urea.

El "lodo de úrea" es alimentado a las Centrífugas donde se separan los cristales de úrea del "licor madre". Los cristales son luego enviados al Secador Fluidizante (U-FF301) y el "licor madre" es retornado al Cristalizador a través del tanque de "licor madre".

2.2.2.3 Sección Granulado

Esta etapa del proceso está integrada por los siguientes equipos Secador Fluidizante (UFF-301), Ciclón (UFC-

301), Fundidor (UEA-301), Distribuidor (UPF-301), Enfriador Fluidizante (UFD-302) y Torre de Perlado (Prilling) (U-IA-301).

Los cristales de úrea provenientes de las Centrífugas son secados en el U-FF-301 para luego ser enviados por medio de la línea neumática a la parte alta de la Torre de Perlado. De aquí, los cristales pasan al Fundidor y de ahí al Tanque de cabeza (U-FA-301), de donde la úrea fundida a 135 °C es rociada hacia la zona inferior de la Torre de Perlado, en contracorriente con el flujo de aire que es enviado por el Soplador U-GB-303. Mientras descienden, las gotas de úrea se solidifican al enfriarse con el aire en contracorriente. Luego, las perlas ("prills") de úrea son completamente enfriados en el fondo de la torre (U-FD-302), alcanzando la temperatura del medio ambiente (25-30 °C).

La úrea perlada es pesada y enviada al área de envasado y almacenamiento.

2.2.2.4 Sección Recuperación

Esta sección consta del Condensador de gas de desecho (UEA-406), Absorbedor de gas de desecho (UDA-403), Absorbedor de baja presión (UEA-402). Absorbedor de Alta Presión (UEA-401), Condensador de Amoníaco (UEA-404), Absorbedor Recuperador de Amoníaco (UEA-405) y Reservorio de Amoníaco Recuperado (UFA-401).

En esta sección el gas separado en cada Descomponedor es absorbido en su respectivo Absorbedor. Así el Descomponedor de alta presión, se comunica con el Absorbedor de alta presión; el Descomponedor de baja presión, con el Absorbedor U-EA-402 y el Separador de gas con el Absorbedor de gas de desecho.

El Absorbedor de gas de desecho opera a presión atmosférica.

El gas amoníaco proveniente del Separador de gas es absorbido en agua y la solución es enviada al Absorbedor de baja presión(U-EA402). El Absorbedor de baja presión opera a 2.2 Kg/cm^2 , donde el gas proveniente del Descomponedor de baja presión es Absorbido y recuperado y esta solución luego es enviada al Absorbedor de alta presión(U-EA401)..

El Absorbedor de alta presión opera a 16.5 Kg/cm^2 y aquí se recupera el gas proveniente del Descomponedor de alta presión. Prácticamente todo el CO_2 es absorbido en agua en este absorbedor.

El exceso de amoníaco (gas) es descargado por el tope de la torre (U-DA-401) y enviado al Condensador de amoníaco(U- EA404). La solución recuperada en el Absorbedor Enfriador de alta presión, es luego reciclada al Reactor de Urea.

En el Condensador de amoníaco se condensa el gas de amoníaco y es depositado en el reservorio de amoníaco

recuperado, para luego ser enviado junto con el amoníaco fresco al Reactor de Urea.

El gas amoníaco acompañado con gases inerte pasa a ser absorbido en agua en el Absorbedor Recuperador de amoníaco (U-EA-405), donde es recuperado como solución amoniacal.

Este sistema de recuperación de amoníaco opera a 15.5 - 16.0 Kg/cm².

2.2.3 Planta de Servicios Auxiliares

2.2.3.1 General

El Complejo de Fertilizantes consta de las siguientes Servicios Auxiliares, en adición a las plantas mencionadas anteriormente :

- Captación de agua de mar.
- Planta de destilación de agua de mar.
- Sistema de agua de enfriamiento.
- Sistema de tratamiento de agua (desmineralización).
- Sistema de generación de vapor.
- Generación de CO₂.
- Almacenamiento de amoníaco.
- Sistema de contra incendio.
- Laboratorio.
- Sistema de recepción de gas y diesel combustible.
- Generador de emergencia.
- Taller de mantenimiento.
- Bodega - Almacén de Repuestos.
- Oficinas administrativas.

2.2.3.2 Especificaciones de Diseño de las Facilidades

a. Captación Agua de Mar

El sistema colecta el agua de mar que se emplea en el sistema de enfriamiento y como carga para la Planta de Destilación. Consiste de una toma de captación (cabezal), tubería de captación, cedazo, bombas y sistema de clorinación. Las especificaciones son las siguientes:

- Volumen de agua captado : 5,711 T/D
- Línea submarina
 - Diámetro : 1,100 mm
(43")
 - Recubrimiento interno : "Tar epoxy"
 - Pintura externa : "Tar enamel", con doble tela de fibra de vidrio
- Cedazo giratorio
- Clorinador : Inyector de cloro gaseoso por medio de la presión de vacío que genera un flujo de agua de mar. La capacidad de inyección es de 50 Kg cloro/hr.

b. Destilación Agua de Mar

Se usa un evaporador instantáneo de múltiples etapas para la destilación del agua de mar.

La planta produce agua destilada con un pequeño contenido de sales disueltas,

empleando un vapor de baja presión como fuente de calentamiento.

Consiste de un evaporador con 25 cámaras de evaporación instantánea, Calentador de Salmuera, Descarbonador, Generador de vacío y Bombas de circulación de salmuera.

Las especificaciones son las siguientes :

Capacidad de producción : 3,120 T/D
 Calidad agua destilada : 10 ppm (máx)de
 sólidos totales
 disueltos
 Consumo de vapor en el : 16,250 Kg/h
 Calentador de salmuera

Especificaciones de los Evaporadores :

Número de Etapas : 25 etapas
 Presiones de Operación : -0.977 a 0.596
 Kg/cm² (presión
 manométrica)

Temperatura de Operación : 34.7 a 113.3 °C

Material :

Casco : Acero al Carbono
 Cajas de agua : Acero al carbono con
 recubrimiento de
 neoprene.

Tubos de condensadores: Titanio/Cupro-Níquel

c. Agua de Enfriamiento

Este sistema incluye una torre de enfriamiento, bomba de agua de enfriamiento y facilidades para la inyección de productos químicos, como los inhibidores de corrosión. El objetivo del sistema es suministrar agua fresca para el sistema de enfriamiento de la Planta. El agua

utilizada es una mezcla de agua destilada producida en la planta desalinizadora, con un condensado que se recupera del área de Generación de CO₂ de la Planta de Amoníaco.

Las especificaciones de la Torre de Enfriamiento son las siguientes :

Volumen de agua : 1650 M³/Hr
recirculada

Temp.de diseño (*) : 24 °C
del bulbo húmedo

Temp.entrada de (*) : 37 °C
agua caliente

Temp.salida del (*) : 28 °C
agua enfriada

Tipo : Flujo en contracorriente con 2 celdas e igual número de ventiladores de aire de tiro inducido

(*) Las temperaturas dependen de la estación del año. Las que aquí se muestran están referidas al período Abril-Noviembre.

d. Sistema de Desmineralización

Este sistema produce agua químicamente pura para ser alimentada a los calderos. El agua destilada proveniente de la Planta Desalinizadora es tratada en torres que contienen resinas de intercambio iónico. Adicionalmente este sistema incluye equipos para la regeneración de resinas con ácido sulfúrico y soda caústica.

Las principales especificaciones son las siguientes:

Capacidad de Producción de agua pura : 48T/h

Tipo de torre de intercambio iónico : Tipo cama de mezcla

Regenerante : H₂SO₄ al 98%

Calidad del agua pura :

- Conductividad eléctrica : 1 micro moh/cm (a 25°C)
- SiO₂ (Sílice) : 0.02 ppm

e. Sistema de Generación de Vapor

Este sistema comprende tres calderos tipo paquete que emplean gas natural como combustible. Los gases de combustión (chimenea) son parcialmente alimentados a la Planta de Generación de CO₂, para luego desde aquí enviar el flujo de CO₂ a la Planta de Urea. Las principales especificaciones son las siguientes:

<u>DETALLE</u>	<u>CALDERO ALTA</u>	<u>CALDERO BAJA</u>
	<u>PRESION</u>	<u>PRESION</u>
Fabricante :	Mitsubishi	Mitsubishi
Caldero tipo :	16 VP-12 W	15 VP-9W
N° de unidades :	1	2
Vapor Generado :	20,000 Kg/h	20,000 Kg/h
Presión diseño (máx.) :	45 Kg/cm ²	20 Kg/cm ²
Presión de Oper. :	40 y 15 Kg/cm ²	20 Kg/cm ²
Temp. de Operac. :	Saturado	Saturado
Combustible :	Gas Natural	Gas Natural

Nota : El caldero de 40 Kg/cm² se emplea a esta presión solamente durante el arranque de la Planta de Amoníaco.

f. Sistema de Generación de CO₂

Este sistema produce CO₂ a partir de los gases de combustión de los

calderos, a fin de completar la carga de CO_2 para la Planta de Urea . Este flujo constituye un 10% de la carga para esta Planta.

Como solución absorbente del CO_2 se emplea la Mono Etanol Amina (MEA).

El sistema incluye un Saturador de gases de combustión, Absorbedor de CO_2 , Regenerador de MEA, Intercambiador de calor, bombas y otros servicios adicionales.

Producción de CO_2 : 1,200 Nm^3/h
 Contenido de CO_2 (producido) : 93.75% vol.

g. Sistema de Almacenamiento de Amoníaco

El sistema incluye dos tanques esféricos para almacenamiento de amoníaco líquido en tránsito (para producir úrea o vender al exterior), bombas de carga de amoníaco líquido y compresores para los gases de amoníaco que luego se condensan para ser enviados nuevamente a los tanques.

Características de los tanques de amoníaco:

Número	:	2
Capacidad	:	800 Ton. de NH_3 líquido(cada uno)
Temp. diseño	:	30 °C
Presión diseño	:	8 Kg/cm^2
Material	:	Acero al carbono.

Nota: Actualmente estas esferas están fuera de servicio debido al severo ataque de la corrosión por esfuerzos, y han sido reemplazados por tres tanques cilíndricos horizontales de 360 Ton. de capacidad total.

CAPITULO III

A. LOS SISTEMAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO Y SU CLASIFICACION

El agua de enfriamiento se describe como el agua que fluye a través de un intercambiador de calor con el propósito de absorber y transferir el calor. Si es un sistema de intercambiadores a través del cual el agua de enfriamiento fluye, se le denomina sistema de agua de enfriamiento. El término " Sistema de Agua de Enfriamiento " como es usado aquí, no sólo cubre a aquellos sistemas de gran escala que se encuentran en la refinación del petróleo, manufactura petroquímica y plantas de energía comercial; sino también para los sistemas de enfriamiento más pequeños como los condicionadores de aire, los motores de combustión interna, así como también para los sistemas de salmuera para los refrigeradores.

Los sistemas de agua de enfriamiento son divididos, preliminarmente, en dos tipos : el de tipo Recirculación y el de un Solo Paso. Esto es dependiendo de la situación si el agua de enfriamiento es recirculada para su reuso.

Los sistemas antiguos eran subdivididos en los de Tipo Abierto, en el cual una porción del agua es elevada en su temperatura cuando pasa a través de un intercambiador de calor y luego es evaporada para reenfriar el resto; y el de Tipo Cerrado, en el cual el reenfriamiento no es efectuado haciendo uso del calor latente de vaporización, sino por medio de un cierto tipo de intercambiador de calor (ejemplo un radiador).

El sistema de salmuera para refrigeración pertenece al grupo de los sistemas de agua de enfriamiento del tipo

de Recirculación Cerrada, pero usualmente es tratado en forma especial.

Los sistemas de agua de enfriamiento de recirculación abierta también son conocidos como sistemas de torre de enfriamiento, debido a que frecuentemente ellos están equipados con una torre de enfriamiento como medio para enfriar el agua. Los sistemas de agua de enfriamiento de recirculación cerrada, que están representados por aquellas máquinas de combustión interna, son frecuentemente llamados como sistemas de agua de enfriamiento para máquinas de combustión interna.

En resumen. los sistemas de agua de enfriamiento son clasificados como a continuación se describe :

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Sistemas de agua de enfriamiento de tipo recirculación | <ul style="list-style-type: none"> -Sistemas de agua de enfriamiento de recirculación abierta (sistema de Torre de enfriamiento). -Sistemas de agua de enfriamiento de recirculación cerrada (sistemas de agua de enfriamiento para máquinas de combustión interna). -Sistemas de Salmuera para Refrigeración. |
| <ul style="list-style-type: none"> - Sistemas de agua de enfriamiento de un Solo Paso. | |

Los problemas en los sistemas de agua de enfriamiento son debidos esencialmente a la corrosión, al ataque de los microorganismos (Lama o Slime) y a la formación de incrustaciones ("Scale") por deposición de las sales, pero estas formas se comportan de manera diferente dependiendo del tipo de sistema.

El agua de enfriamiento es empleada en toda clase de plantas industriales, y los problemas en el sistema de agua de enfriamiento afectan la operación de toda la planta así como al mismo sistema. Debe ser tenido en

cuenta que los problemas en un sistema de enfriamiento generan una enorme pérdida, debido a que causan daños indirectos al decrecimiento de la producción y daños directos al equipo de enfriamiento. Por lo tanto, un sistema de agua de enfriamiento debe ser controlado de tal manera que una operación libre de problemas sea asegurada, al menos, por uno o dos años o hasta la próxima inspección general de la planta industrial.

Existe un concepto general errado que considera que el sistema de agua de enfriamiento no tiene un efecto directo sobre los procesos de producción. Pero actualmente, puede decirse que forma parte de la ruta crítica de las plantas de producción modernas. Dado a conocer ésto, se puede entender fácilmente el rol vital que cumple el tratamiento de agua de enfriamiento.

B. SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO DE RECIRCULACION ABIERTA

1. La Torre de Enfriamiento

En un sistema de agua de enfriamiento de recirculación abierta, el agua de enfriamiento absorbe el calor a través de los intercambiadores de calor y una parte del agua, en la cual su temperatura se ha incrementado, es evaporada hacia la atmósfera. Con la liberación del calor latente de vaporización, la parte restante del agua es enfriada y el agua de enfriamiento reenfriada es recirculada para un nuevo uso. Este proceso es conocido como el proceso de reenfriamiento del agua. El enfriamiento del agua es alcanzado por medio de un estanque de enfriamiento, un estanque con rociadores o una torre de enfriamiento. Para un enfriamiento sistemático de grandes cantidades de agua, se emplea, una torre de enfriamiento con un flujo de aire mecánico y la mayoría de sistemas de

agua de enfriamiento que utilizan agua fresca adoptan este tipo de torre de enfriamiento. Los estanques sólo son adecuados para un enfriamiento preliminar.

Las torres de enfriamiento con flujo de aire mecánico están divididas en las de tipo de **Tiro forzado** y de **Tiro Inducido**, dependiendo de la ubicación de los ventiladores en la torre (tiro forzado con el ventilador en la zona inferior y tiro inducido con el ventilador en la zona superior).

En cualquier clase de torre de enfriamiento, el agua puede ser enfriada hasta la temperatura de bulbo húmedo del aire, siempre que la velocidad de flujo del aire en la torre y la altura de la misma sean apropiadas.

En la Fig. # 1 se muestra un diagrama de flujo de un típico sistema de agua de enfriamiento de recirculación abierta.

2. Balance de Agua de Enfriamiento con Recirculación abierta

El sistema de agua de enfriamiento con recirculación abierta está caracterizado por el empleo del calor latente de vaporización para enfriar el agua. Como resultado, el agua de enfriamiento contiene una mayor concentración de sales disueltas que el agua fresca de reposición. El grado de concentración del agua de circulación comparada con el agua de reposición, es expresado numéricamente por el término; **Ciclos de Concentración**. Los Ciclos de Concentración son valores adecuados para hallar los cambios en la calidad del agua debido a la circulación, y consecuentemente para determinar un efectivo método para el tratamiento del agua. También ofrece una

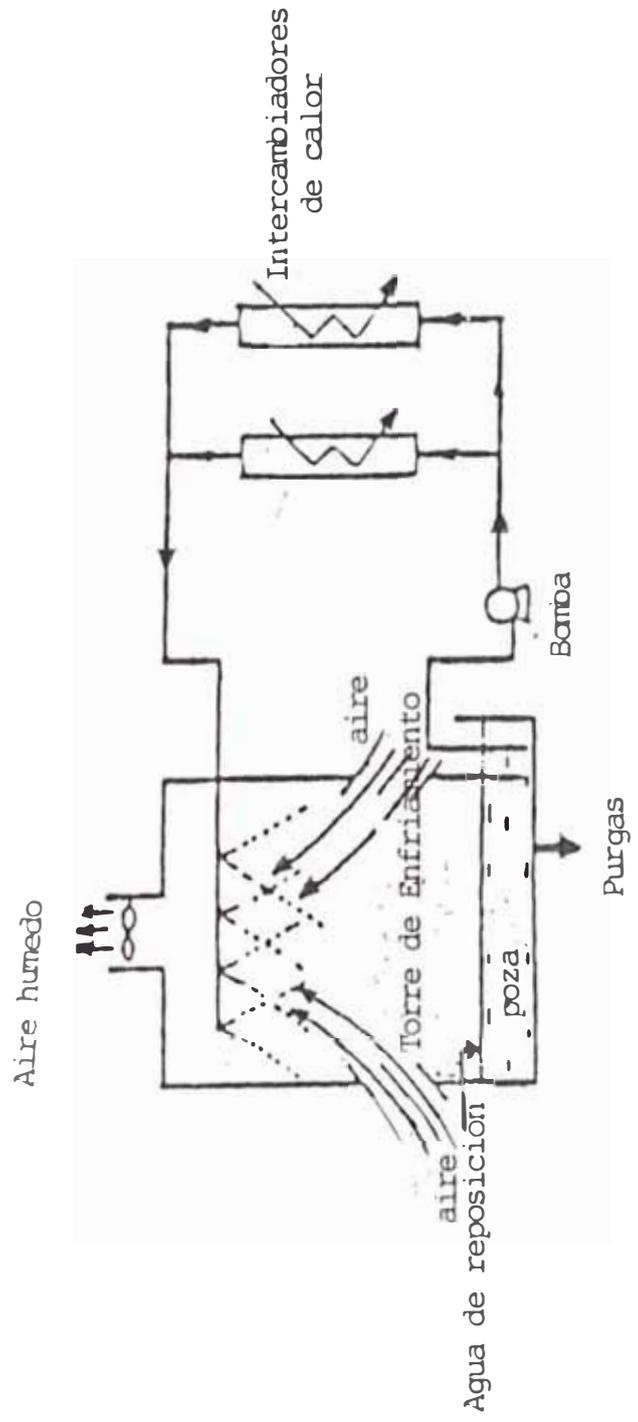


Fig. 1. Diagrama de Flujo de un sistema de agua de enfriamiento de tipo de recirculación abierto.

base para determinar el volumen del agua de enfriamiento requerida.

En un sistema de agua de enfriamiento de recirculación abierta, el volumen de agua de reposición M (como un porcentaje del flujo de recirculación) es obtenido como la suma de la pérdida por evaporación E (como porcentaje del flujo de recirculación), la pérdida por arrastre D (como porcentaje del flujo de recirculación) y la pérdida por purgas B ("blowdown", como porcentaje del flujo de recirculación).

$$M = E + D + B \quad (1)$$

Entre estos valores, M y B pueden ser medidos directamente con un medidor de flujo. Por razones prácticas la pérdida por evaporación E puede ser asumida como 1 % por cada 5.5 °C de caída de temperatura a través de la torre.

Sustituyendo M , E y B en la ecuación (1), se consigue el valor de D . Esta D es constante para cada torre de enfriamiento y usualmente es aproximadamente 0.1 % para las torres con Sistema Mecánico de Flujo de Aire en uso corriente.

Con estos valores conocidos, los ciclos de concentración N son obtenidos de la siguiente manera:

$$N = (E + D + B) / (D + B) = M / (D + B) \quad (2)$$

Así, para hallar los ciclos de concentración para un sistema de agua de enfriamiento de recirculación abierta, sólo es necesario medir el volumen del agua de reposición, la pérdida por purgas, y las temperaturas del agua de recirculación tanto a la entrada como a la salida de la torre.

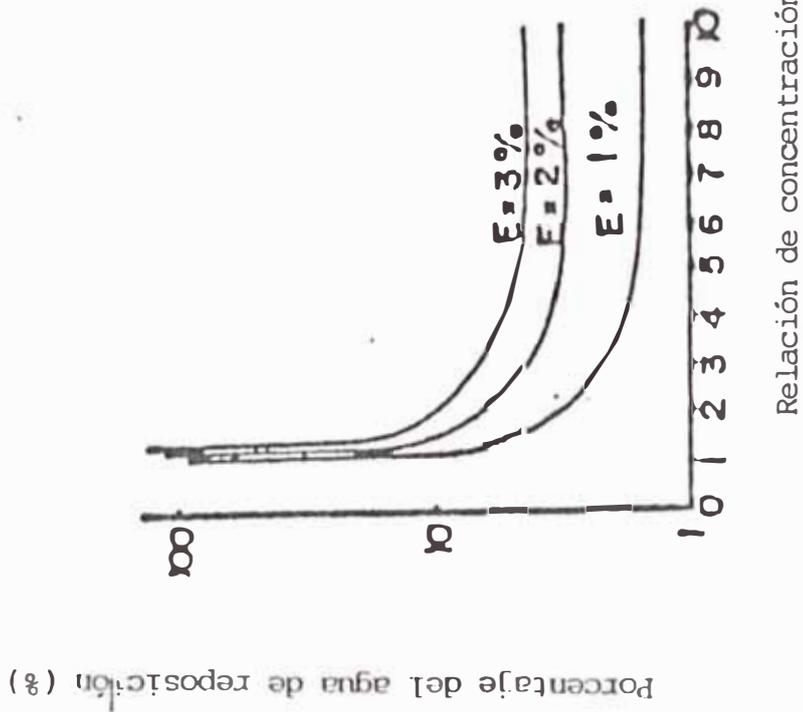


Fig. 2. Agua de reposición vs. Relación de concentración

Cuando la pérdida por evaporación E y la pérdida por arrastre D son constantes, el volumen de agua de reposición M puede ser reducido por disminución del volumen de purgas B , como obviamente se deduce de la ecuación (1). En este caso, la tasa de decrecimiento de $D + B$ es mayor que la $E + D + B = M$.

Por lo tanto, es apreciado de la ecuación (2) que los ciclos de concentración incrementan a medida que B se reduce. En la Fig. 2 se muestra la relación entre los ciclos de concentración y el volumen de agua de reposición, donde E y D en la ecuación (2) son constantes, y se aprecia que el agua de reposición se incrementa agudamente a bajos ciclos de concentración pero decrece cuando se incrementan los ciclos de concentración. En otras palabras, una gran limitación de los volúmenes de purga no contribuye mucho a reducir el volumen del agua de reposición, y más bien incrementa el riesgo de la corrosión, de las incrustaciones y de los problemas generados por la lama; debido a la concentración del agua de recirculación. Por lo tanto, para una operación con altos ciclos dirigida a reducir el consumo del agua de reposición, un rango de 5 a 6 ciclos de concentración sería lo más apropiado, aunque éste está sujeto a variaciones dependiendo de la calidad del agua de reposición. Por ejemplo en el Japón, debido a la calidad del agua y a su falta de disponibilidad, los sistemas de agua de enfriamiento son generalmente operados en el rango de 3 a 5 ciclos de concentración.

C. PROBLEMAS Y PRODUCTOS QUIMICOS PARA EL TRATAMIENTO

1. La Corrosión y los Inhibidores de Corrosión

1.1 La Corrosión.— La corrosión es definida como el deterioro de una sustancia, usualmente un

metal, o de sus propiedades; debido a una reacción con el ambiente que lo rodea. La corrosión en un sistema de agua de enfriamiento de recirculación abierta, causa daños tanto directos como indirectos. Los daños directos involucran la destrucción y la reducción del tiempo de vida útil de la red de tuberías y de los equipos del sistema (enfriadores y condensadores principalmente), mientras que indirectamente el daño incluye la contaminación del producto debido a la fuga del agua de enfriamiento o la suspensión de la operación por la fuga del producto hacia el sistema. De otro lado, la acumulación de los productos de corrosión en los intercambiadores de calor y otras partes del sistema, conducen a una reducción de la eficiencia de intercambio en los enfriadores o al taponeamiento de los tubos del intercambiador.

Una discusión general puede ser efectuada sobre la tasa de corrosión para el acero al carbono ("**mild steel**"), que es comunmente empleado en los sistemas de agua de enfriamiento, debido a que la tasa está sujeta a la influencia de varios factores. Por ejemplo en Japón, la tasa de corrosión del acero al carbono para los sistemas de agua de enfriamiento sin tratamiento, es medida entre 50 ~ 150 mdd (igual a 9.1 ~ 27.4 mpy) para un mes dado.

Generalmente esta tasa de corrosión muestra la velocidad de corrosión promedio. En los puntos donde existen "**pittings**", se dice que la tasa es equivalente a un rango de 2~ 10 veces la tasa de corrosión promedio.

Los tubos de cobre y bronce "**admiralty**" son frecuentemente usados en los intercambiadores

de calor y estos metales, resistentes a la corrosión, están libres de la corrosión bajo las condiciones de operación normal del sistema de enfriamiento y siempre que no existan contaminantes, como el amoníaco, que ataca fuertemente a las aleaciones de cobre. Sin embargo, la siguiente discusión estará dirigida a los materiales de acero al carbono.

1.2 El Mecanismo de la Corrosión

La corrosión de los metales en aguas que poseen una alta conductividad eléctrica, debido a la relativamente abundante cantidad de sales disueltas, es considerada que es debido a una reacción electroquímica en la cual el metal es liberado de los ánodos por una acción de celdas locales instaladas sobre la superficie del metal, y se disuelve en el agua en la forma de ión. Las reacciones básicas de la corrosión electroquímica, están dadas como sigue :



Reacción Catódica:



Las reacciones anódicas y catódicas expresadas respectivamente por (3) y (4) pueden progresar simultáneamente y a la misma velocidad de reacción. De otro lado, si el oxígeno disuelto no es continuamente suministrado del exterior al sistema, el oxígeno disuelto existente será consumido por el progreso de la reacción catódica y eventualmente causará el detenimiento de la reacción. Como resultado, la reacción anódica también cesará.

Sin embargo, en un sistema de agua de enfriamiento de recirculación abierta en la cual el agua está constantemente fluyendo y existe un abundante suministro de oxígeno disuelto, la reacción de corrosión nunca cesa espontáneamente.

En aguas de tipo alcalino, se dice que la velocidad de reacción anódica es mayor que en la catódica, tal que la reacción catódica es el paso determinante de la reacción de corrosión.

Luego las reacciones electroquímicas anteriores son seguidas por las reacciones químicas descritas aquí debajo, las cuales producen el **hidróxido férrico** como un producto de corrosión. La formación del hidróxido férrico consume el Fe^{+2} y el OH^- producido por las reacciones (3) y (4), y la reacción de corrosión continúa.



El hidróxido de fierro producido en las reacciones anteriores no puede actuar como una película protectora en una solución neutral fluyente. El factor que contribuye a la formación de las celdas de acción localizada sobre el metal, es la falta de uniformidad en la composición del metal, su estructura, la condición de la superficie, la temperatura y los esfuerzos internos. De parte del agua de enfriamiento, los factores que contribuyen son la irregularidad en la concentración del oxígeno disuelto y de las sales disueltas, así como la temperatura del agua en el lugar de contacto con el metal. Particularmente cuando materias extrañas como los productos de

corrosión, incrustaciones y lama son localmente depositados sobre la superficie del metal; la solución ambiental se vuelve más irregular para el metal y la corrosión localizada se acentúa formando picaduras "pittings" que se originan a partir de las celdas de concentración de oxígeno.

Por lo tanto, es necesaria la prevención de la formación de las incrustaciones y de la lama a fin de evitar la corrosión y la obstrucción de las tuberías.

De otro lado, se sabe que la lama promueve el crecimiento de las bacterias sulfato-reductoras debido al ambiente anaeróbico que se genera debajo de ella.

En tal estado, una reacción sulfato-reductora como se muestra en (7) se lleva a cabo en lugar de la reacción catódica de (4). Así, la reacción catódica continua aún en un ambiente anaeróbico.



En una situación donde el sulfuro de hidrógeno es producido, el pH del agua desciende y una reacción catódica del tipo evolución del hidrógeno también tiene lugar; acelerando grandemente la tasa de corrosión.



Estas reacciones son seguidas por la reacción que se muestra en (9), la cual produce el sulfuro como un producto de corrosión.



En este ambiente es muy difícil evitar la corrosión de los materiales de acero al carbono y aún de los que se fabrican con aleaciones de cobre.

1.3 Factores que Influyen en la Tasa de Corrosión

Los factores más importantes que afectan la tasa de corrosión, serán discutidos brevemente en las siguientes líneas.

1.3.1 Sales Disueltas

Se puede decir que a una mayor concentración de sales disueltas en el agua, existe una más intensa conductividad eléctrica de la misma. De aquí se deduce que la tasa de corrosión, que es una reacción electroquímica, se incrementa con el aumento de la concentración de las sales disueltas. Como ilustración, en la Fig. # 3 se muestra la relación que existe entre la concentración del cloruro de sodio y la pérdida de peso por corrosión del acero al carbono.

Los iones disueltos en el agua tiene una gran influencia sobre los inhibidores de corrosión, y los casos más saltantes revelan el comportamiento de las concentraciones de los iones cloruro y sulfato; debido a que éstos poseen un gran poder destructivo de la película protectora formada por los inhibidores.

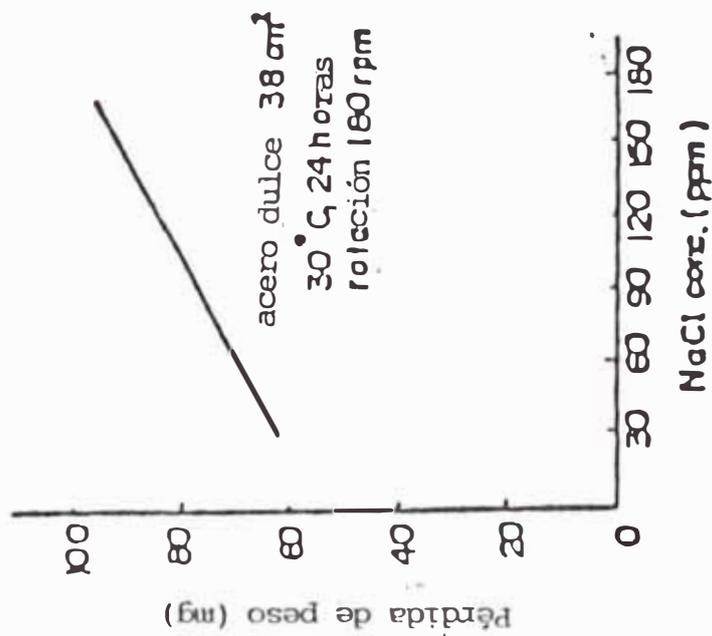


Fig. 3. La pérdida de peso por corrosión del acero dulce y la influencia de la concentración del NaCl

1.3.2 El Oxígeno Disuelto y la Temperatura de Agua

El oxígeno disuelto es el mas grande factor que contribuye a la corrosión. Sin el oxígeno disuelto, no podría ocurrir la corrosión en aguas neutras o alcalinas, debido a que la reacción catódica de (4) no puede tener lugar. A medida que la concentración del oxígeno disuelto se incrementa, la velocidad de la reacción se incrementa proporcionalmente acelerando la corrosión.

Una relación típica entre la concentración del oxígeno disuelto en el agua y la tasa de corrosión del acero al carbono en el agua, es ilustrado en la Fig. # 4.

Como en la mayoría de las reacciones químicas, la velocidad de la reacción incrementa en proporción a la temperatura del agua en la cual tiene lugar. La Fig. # 5 muestra la relación entre la temperatura del agua y la tasa de corrosión del acero al carbono, donde la concentración del oxígeno es mantenida constante. Cabe también señalar que la concentración del oxígeno disuelto en el agua, decrece cuando la temperatura del agua se incrementa.

Por lo tanto, con respecto al comportamiento de los equipos, la relación entre la concentración del oxígeno disuelto y la tasa de corrosión no puede ser considerada en forma separada de la relación entre la

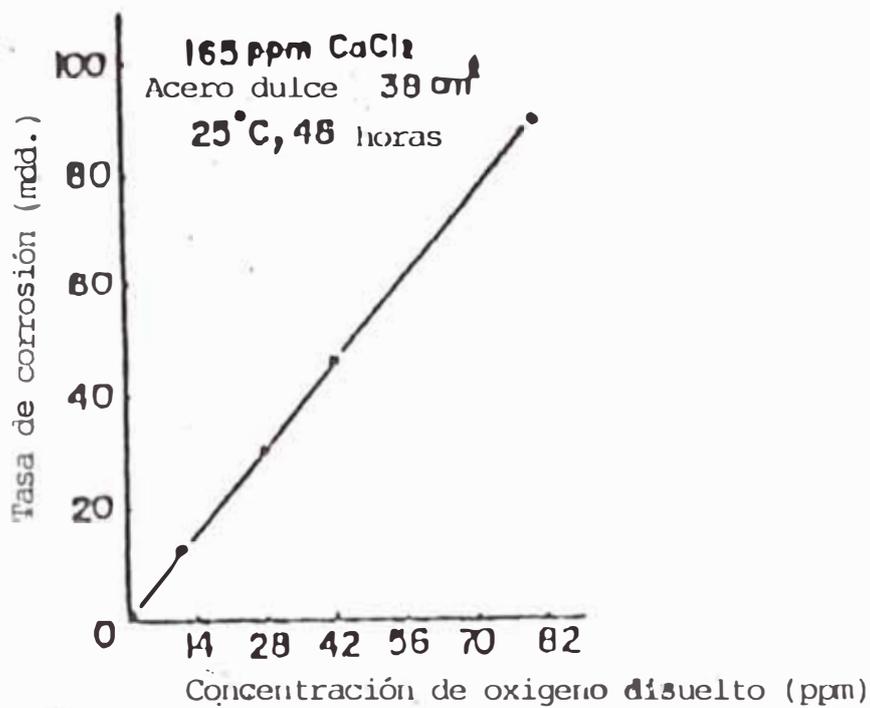


Fig. 4. Efecto de la concentración de oxígeno disuelto sobre la tasa de corrosión del acero dulce.

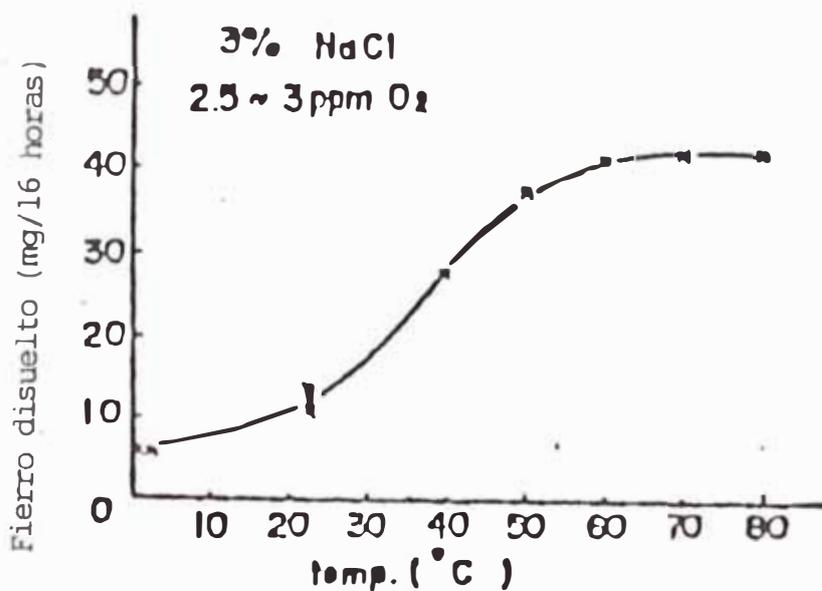


Fig. 5. Efecto de la temperatura del agua sobre la tasa de corrosión del hierro.

concentración del oxígeno disuelto y la temperatura del agua.

Por ejemplo, para un sistema abierto, cuando la temperatura del agua se incrementa por encima de 80 °C o más, la tasa de corrosión decae debido a que el incremento de la velocidad de reacción por efecto del aumento de la temperatura es inferior al efecto de declinación de la velocidad de reacción por causa de la reducción de la concentración del oxígeno disuelto. En la Fig. # 6 se denota esta prueba.

1.3.3 pH

Cuando el pH del agua del sistema es un valor por debajo de 4, aparece la reacción del tipo evolución del hidrógeno (8) en el cátodo y la corrosión del hierro es acelerada. Pero para mayores valores de pH, casi no existe cambio en la tasa de corrosión. Para un pH de 10 o mayores valores, la tasa de corrosión decrece a medida que los hidróxidos de hierro formados sirven como una película protectora. Estas relaciones son ilustradas en la Fig. # 7.

Pero cabe señalar que el efecto de protección contra la corrosión de los inhibidores, fluctúa ampliamente aun dentro del rango de pH de 4 a 10.

1.3.4 Velocidad del Flujo del Agua

A medida que la velocidad del flujo se incrementa, el suministro de oxígeno disuelto a la superficie del metal

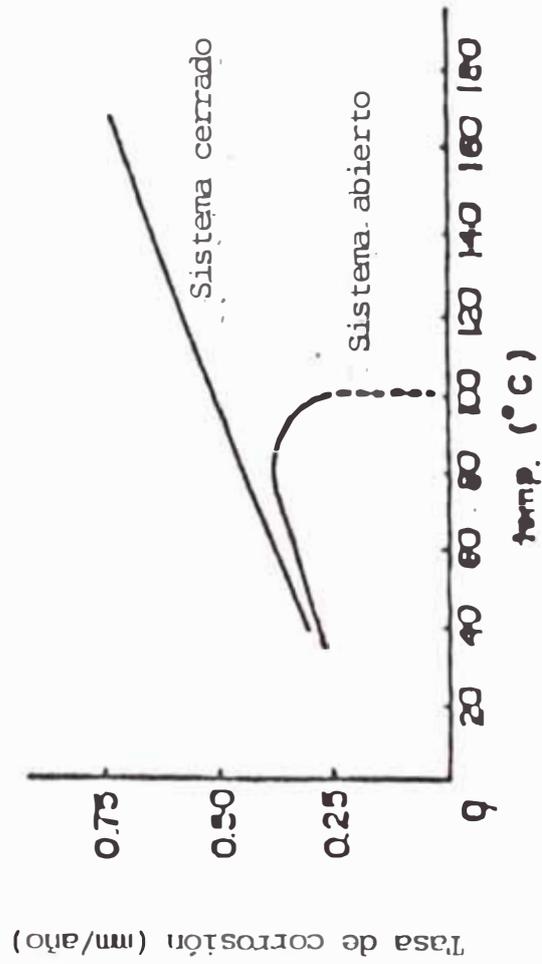


Fig. 6. Efecto de la temperatura del agua sobre la tasa de corrosión del acero dulce.

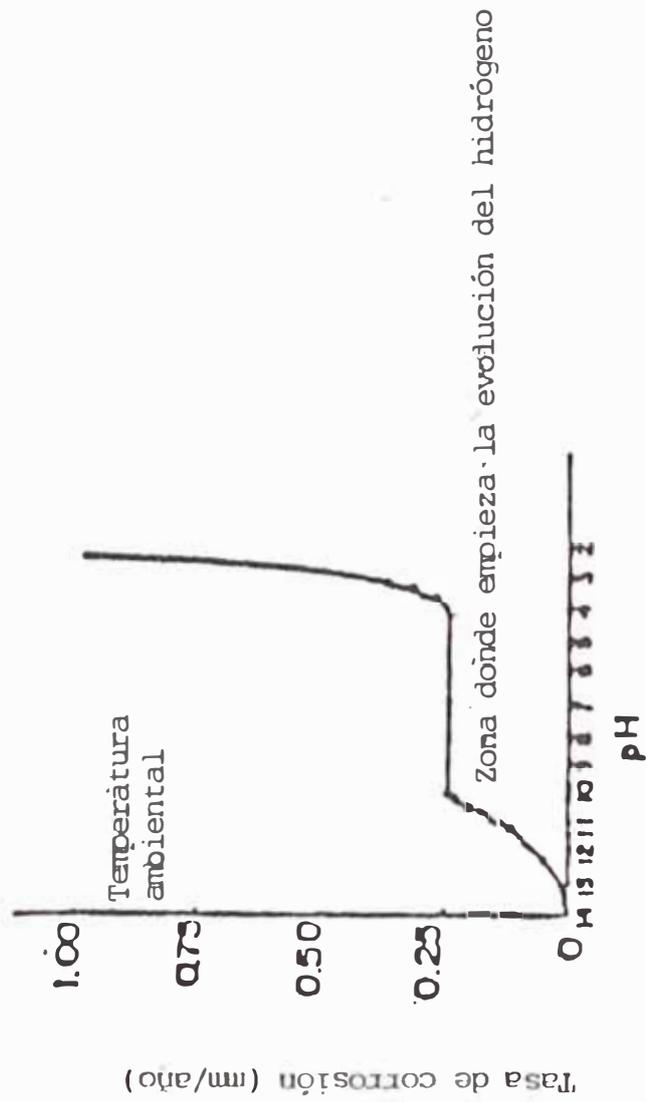


Fig. 7. Efecto del pH sobre la corrosión del hierro en una agua aerada a la temperatura ambiente.

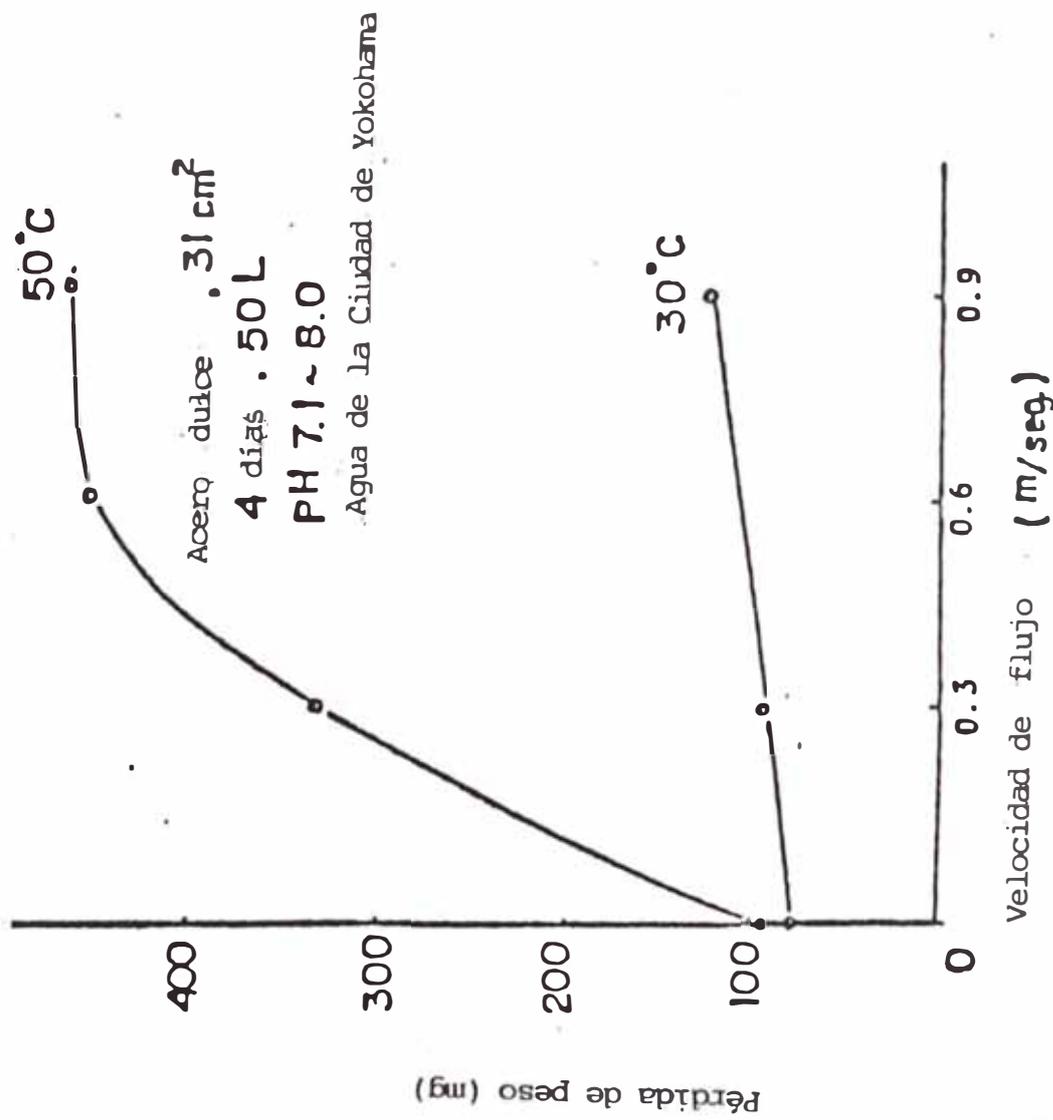


Fig. 8. Efecto de la velocidad de flujo sobre la pérdida de peso por corrosión del acero dulce en agua.

también se incrementa; resultando una mayor velocidad de corrosión tal como se muestra en la Fig. # 8.

Sin embargo, el flujo del agua provee una gran ventaja cuando se emplean inhibidores de corrosión debido a que facilita el suministro del inhibidor a las superficie del metal.

1.3.5 Depósitos

En los sistemas de agua de enfriamiento, los productos de corrosión, la lama y las incrustaciones, frecuentemente se adhieren a la superficie del metal.

Estos depósitos causan la formación de celdas de concentración de oxígeno, de tal manera que la corrosión localizada tiene tendencia a ocurrir debajo de estos depósitos.

1.3.6 Par Galvánico

Cuando dos metales con potenciales de electrodo espontáneo diferente, son puestos en contacto en el agua, una celda eléctrica es cerrada y el metal menos noble es rápidamente corroído.

En este caso, la relación de áreas de los metales en contacto tiene una significativa importancia.

Específicamente, cuando el área superficial del metal menos noble (ánodo), es menor que la del metal que forma el cátodo; la corrosión es intensa. Cuando lo inverso ocurre, no existe mayor problema.

1.3.7 Esfuerzos

Cuando el metal está sometido a esfuerzos de tensión o esfuerzos repetidos, o cuando existe un esfuerzo residual; la reacción de corrosión es promovida en la zona donde el esfuerzo es aplicado.

En aceros inoxidables, aleaciones de cobre y aleaciones de aluminio, los esfuerzos frecuentemente causan rajaduras por corrosión. Asimismo, entre los factores ambientales que contribuyen a la corrosión por esfuerzo, se consideran a los halógenos libres, a los iones halógenos y al ión amonio.

1.4 Inhibición de la Corrosión

Para prevenir la corrosión en un sistema de agua de enfriamiento de tipo recirculación abierta, la práctica común es dosificar inhibidores de corrosión al agua de enfriamiento. Una de las razones es, a diferencia del sistema de enfriamiento de un solo paso, que los requerimientos de agua de reposición en el sistema de recirculación son extramadamente pequeños; tal que el costo del tratamiento con productos químicos es bajo. Otra razón es que el solo uso de materiales resistentes a la corrosión para los intercambiadores de calor y condensadores, no ayuda mucho a prevenir su taponeamiento y ensuciamiento; debido a que si la tubería es corroída por la acción del agua, la concentración total del fierro en el agua de recirculación se incrementará ampliamente.

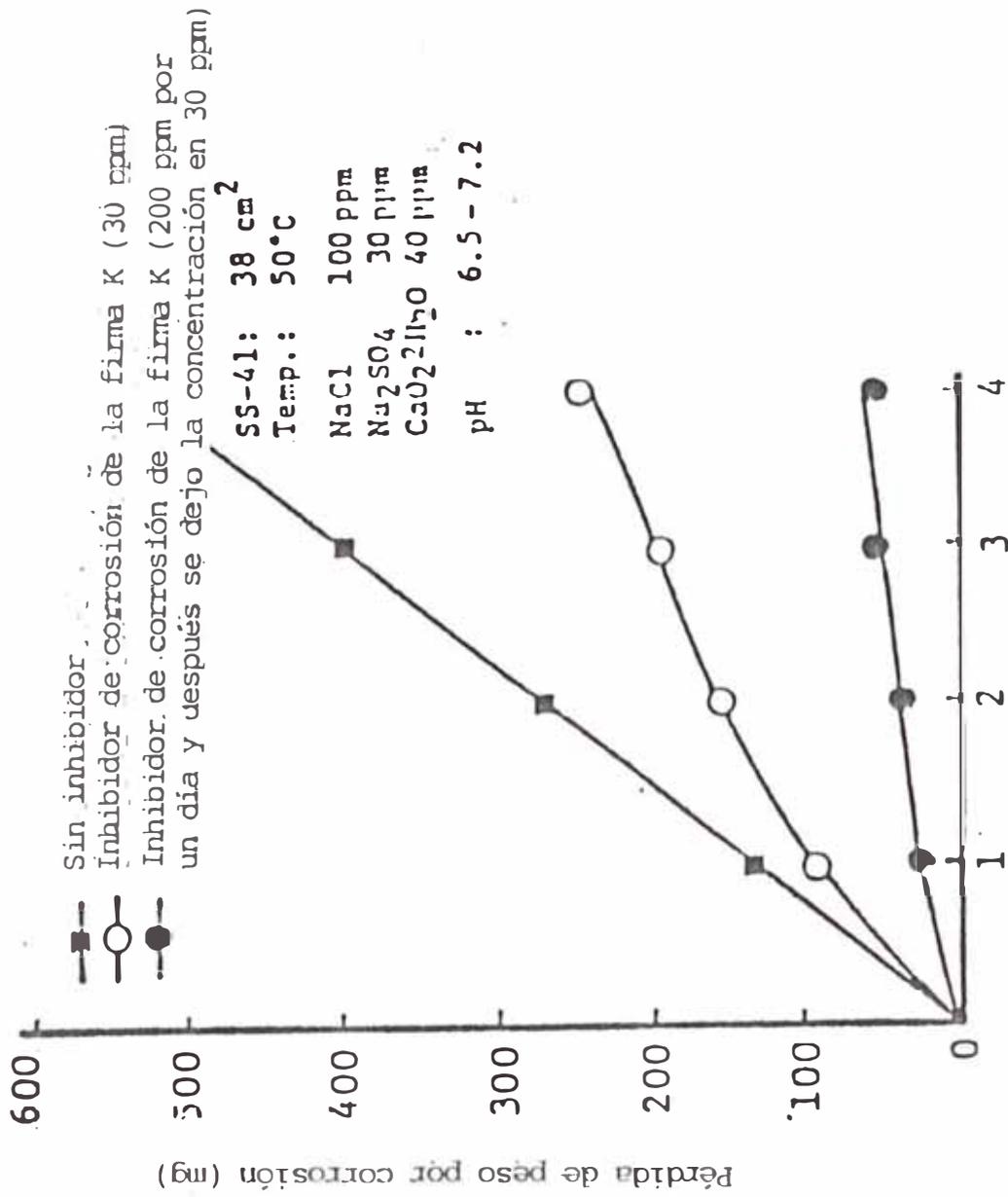
Otras medidas disponibles para prevenir la corrosión, consideran la eliminación del

oxígeno en el agua (desoxigenación), la protección catódica y la aplicación de pinturas; pero estos métodos son pocas veces empleados en los sistemas de agua de enfriamiento de recirculación abierta, debido a la dificultad en su aplicación, al pequeño efecto y al relativo alto costo.

Un inhibidor de corrosión es definido como un compuesto químico que previene la corrosión cuando es agregado a un ambiente corrosivo en pequeña concentración. La reacción corrosiva es inhibida a medida que el metal es aislado del ambiente corrosivo por una película protectora formada sobre el ánodo y/o el cátodo de las celdas de acción localizada que se ubican sobre la superficie del metal.

El efecto de un inhibidor de corrosión no incrementa en proporción a su dosaje. Un inhibidor llega a ser efectivo sólo después que su concentración en el agua alcanza un cierto nivel (Fig. # 9), y la mínima concentración requerida para que un inhibidor llegue a ser efectivo, es conocida como su concentración crítica. Así, si se desea que el inhibidor exhiba el efecto deseado, su concentración crítica debe ser mantenida constantemente y si su concentración cae por debajo de este nivel; no sólo decaerá el efecto inhibidor sino, dependiendo del tipo de inhibidor usado, podría ocurrir una peligrosa promoción de la corrosión por picaduras ("**pittings**").

La concentración crítica de un inhibidor depende de varios factores pero usualmente se incrementa con la concentración de sales y de la temperatura del agua, y decrece cuando la velocidad de flujo se incrementa. De otro lado,



Período de prueba (días)

Fig. 10. Influencia del dosaje inicial sobre la capacidad de protección del inhibidor.

el pH apropiado para el inhibidor varía ampliamente de acuerdo con el tipo del mismo. Por lo tanto, el propio inhibidor y su concentración deben ser seleccionados teniendo en consideración a los factores antes señalados. Además, cuando el inhibidor está en uso la concentración debe ser controlada en forma constante.

Debe también tenerse en cuenta que cuando se pone en servicio el sistema de enfriamiento con un nuevo tratamiento, el dosaje inicial debe ser preparado para una concentración equivalente a 5-10 veces la concentración que tendrá el inhibidor en su uso ordinario; a fin de facilitar la rápida formación de la película protectora sobre la superficie del metal en el sistema. El efecto de este dosaje inicial es ilustrado en la Fig. 10.

1.4.1 Clasificación de los Inhibidores de Corrosión

Las características de los inhibidores de corrosión que están en uso actualmente, son considerados aquí sobre la base del mecanismo anticorrosivo de los inhibidores de corrosión y particularmente sobre la naturaleza de la película anticorrosiva.

Cuando los inhibidores de corrosión son clasificados de acuerdo a la naturaleza de la película anticorrosiva que es formada sobre la superficie del metal; varias clases de métodos de clasificación pueden ser consideradas, pero el método mostrado en la Tabla # 1 es el que es empleado aquí.

TABLA # 1**CLASIFICACION DE LOS INHIBIDORES DE CORROSION**

CLASE DE PELICULA ANTICORROSIVA		INGREDIENTE TIPICO DEL INHIBIDOR DE CORROSION
Tipo de Película oxidada.		- Cromato - Molibdato
Tipo de película precipitada	- Tipo de ion sumergido.	- Polifosfato - Sal de Zinc
	- Tipo sal metálica	- Triazole - Benzotriazole Mercaptano
Tipo de película de adsorción		- Aminas - Surfactantes

1.4.1.1 Inhibidor del tipo película oxidada

Los inhibidores de corrosión del tipo película oxidada previenen la reacción de corrosión por oxidación directa o indirecta del metal, formando una película de óxido metálico sobre la superficie del metal. En general, los óxidos metálicos son compactos en su textura y poseen una excelente adherencia sobre la superficie del metal, pudiendo convertirse en una barrera de difusión superior contra el oxígeno disuelto. También la película oxidada así formada, transfiere el potencial de corrosión del metal sumergido a la dirección de los metales o aleaciones nobles, reduciendo la velocidad de reacción de la corrosión por medio del fenómeno de pasivación. Después que la película de oxidación adquiere un cierto espesor, empieza a actuar como una propia barrera de difusión y el crecimiento de

la película virtualmente se detiene. Por lo tanto, el efecto anticorrosivo de los inhibidores de corrosión del tipo película oxidada es de la más alta calidad, y aún cuando exista un exceso de inhibidor la película anticorrosiva nunca llegará a convertirse en una incrustación ("Scale").

1.4.1.2 Inhibidor del tipo ión sumergido

El inhibidor de corrosión del tipo ión sumergido se combina con los iones de calcio, iones carbonatos y iones hidróxido los cuales están disueltos en el agua y forman precipitados insolubles, generando así la película anticorrosiva sobre la superficie del metal. Debido a que esta clase de película es formada sin una relación directa con la condición de la superficie del metal base, ésta llega a ser porosa y frecuentemente muestra una pobre adherencia al metal. Por lo tanto, los inhibidores de corrosión de este tipo tienen un efecto anticorrosivo inferior al que muestran los inhibidores del tipo película oxidada. También se debe tener en cuenta que si el inhibidor del tipo ión sumergido existe en exceso en el agua, el crecimiento de la película anticorrosiva continua y a veces la película se llega a convertir en incrustación ("Scale"). En tal caso, será necesario también considerar un tratamiento para prevenir la formación de incrustaciones.

1.4.1.3 Inhibidor del tipo sal metálica

Cuando un inhibidor de corrosión del tipo sal metálica es empleado, el metal se mantiene activamente disuelto y la película anticorrosiva se forma principalmente del metal insoluble el cual se deposita en las zonas donde la concentración del ión metálico llega a ser mayor. Después que la película anticorrosiva es formada, el crecimiento de la película se detiene, aún cuando exista un exceso del inhibidor disuelto, previniendo así que la película anticorrosiva se convierta en una incrustación. También se considera que la película que se forma a través de este proceso, llega a tener una textura más compacta que en el caso del inhibidor del tipo ión sumergido; generando así un mejor efecto anticorrosivo.

1.4.1.4 Inhibidor del tipo película de adsorción

El inhibidor de corrosión del tipo película de adsorción es un compuesto orgánico que cuenta, dentro de su misma molécula, con un radical polar que puede ser adsorbido a la superficie del metal y un radical hidrofóbico. Este inhibidor previene la reacción de corrosión adheriéndose al metal por medio del radical polar, y obstruyendo la difusión del agua y del oxígeno disuelto con su radical hidrofóbico. Cuando la superficie del metal se encuentra activa y limpia, el inhibidor del tipo película de adsorción forma una película que muestra

un excelente efecto anticorrosivo. Sin embargo, en un rango de pH neutral para el agua, como el caso del agua de enfriamiento, es común que la superficie del metal se encuentre cubierta con productos de corrosión y ésta no ofrece un ambiente apropiado para la formación satisfactoria de la película anticorrosiva de este tipo.

1.4.1.5 Sobre el cambio en los tipos de inhibidores.

El ejemplo típico del inhibidor de corrosión del tipo película oxidada es el cromato, y la mayoría de inhibidores usados en el pasado en los sistemas abiertos de agua de enfriamiento eran de este tipo; debido al excelente efecto anticorrosivo y a sus ventajas económicas. Sin embargo, desde que en años recientes se intensificó el control de la concentración de cromo en la descarga de los sistemas que van hacia el mar o ríos, en el presente se viene produciendo una rápida conversión de los inhibidores de base cromato hacia los de base no-cromato.

2. El Problema de la Lama y su Tratamiento Químico

2.1 El Problema de la Lama (Slime).

Una de las dificultades para un sistema de agua de enfriamiento es la que genera la lama, la cual se desarrolla como lodo y consiste principalmente de microorganismos que se forman y adhieren en las paredes internas del sistema. Muchos reportes han sido publicados sobre la lama en un amplio sentido del término, y la

mayoría de ellos referido a las algas que crecen en los reservorios y torres de enfriamiento. Actualmente, los estudios sobre este tema se centran en su comportamiento en los intercambiadores de calor, los cuales, debido al ataque de la lama, es conocido que sufren una reducción de su eficiencia de transferencia de calor y en casos extremos provocan paralizaciones de la unidad. Aún en presencia de una suficiente cantidad de inhibidor de corrosión, la lama puede causar celdas de concentración diferencial de oxígeno sobre la superficie del metal las cuales generarán picaduras disminuyendo el efecto del inhibidor. Debe ser dado a conocer que la lama puede generar un problema crucial para el control de la planta y consecuentemente reducir drásticamente la eficiencia en la producción.

2.2 Formación de la Lama

En los últimos años, la microflora y la composición química de la lama ha sido analizada en las plantas industriales. Estas investigaciones han descubierto los siguientes factores acerca de la lama.

En la mayoría de casos, la lama aparece en la forma de un gel suave, de color negro o marrón grisáceo. La observación microscópica revela que la lama consiste mayormente de la bacteria Zoogloea y parcialmente de bacterias con filamentos que forman flóculos irregulares o capas ligeras que contienen un gran número de especies de microorganismos.

Otra interesante característica es que la mayoría de las lamas contienen remanentes de algas (principalmente la alga verde-azul y la

diatomea), lo cual sugiere que las algas suministran parte de los nutrientes para las bacterias.

La composición química de muestras típicas de lama tomadas de los intercambiadores de calor de algunas plantas, son dadas a conocer en la Tabla # 2.

TABLA # 2

COMPOSICION QUIMICA DE LA "LAMA" TIPICA
(UNIDAD: % PESO)

	PERDIDAS POR IGNICION	COMPONENTES INSOLUBLES EN ACIDO	FIERRO Y ALUMINA	MICROFLO- RA
A. Planta Petroquímica	36.3	34.6	11.5	Flóculos, diatomea
B. Refinería de Petrol.	31.0	38.0	25.2	Zoogloea
C. Planta Química	20.6	25.7	47.2	Bacteria, diatomea

Debido a que los microorganismos están presentes en la lama, al menos un 50 % de ella consiste de materia inorgánica. Este hecho indica que la lama está formada por flóculos de microorganismos que adsorben materia inorgánica y productos de corrosión en el agua de recirculación; proviniendo estos productos parcialmente de la adherencia de la lama a las superficies del metal.

2.3 Mecanismos de Formación de la Lama

Un sistema de agua de enfriamiento de tipo recirculación abierto cuenta con las condiciones apropiadas para el desarrollo de

los microorganismos, aunque la concentración de sustancias orgánicas (que representan los nutrientes para los microorganismos) es extremadamente baja, a excepción de circunstancias limitadas.

Mientras de un lado pequeñas cantidades de sustancias inorgánicas ingresan del exterior al sistema, o son producidas por el crecimiento de las algas o restos de las mismas que son retenidas en el sistema por un largo período; por el otro lado los microorganismos que existen en el agua (principalmente bacterias) forman flóculos mediante capas de su lama y combinan su característica adhesiva con suspensiones inorgánicas del sistema a través del efecto de superficie sólida. Las condiciones en este sistema son similares a aquellas encontradas en el tratamiento biológico de los desagües (aguas servidas), excepto que el suministro de nutrientes en el caso de los sistemas de enfriamiento es extremadamente limitado. La microflora en los sistemas de agua de enfriamiento es casi la misma como en el tratamiento biológico de las aguas servidas.

El flóculo de microorganismos así formado tiene una gran adhesión, y como soporta una desnaturalización térmica sobre las superficies de transferencia de calor de los intercambiadores, la propiedad adhesiva sobre la superficie del flóculo es incrementada y facilita su combinación con los componentes de las incrustaciones y los productos de corrosión.

Por lo tanto, la formación de la lama es dependiente de los flóculos orgánicos y las

condiciones de operación de los intercambiadores de calor. Esto es comprobado mediante los análisis de la lama encontrada en los intercambiadores y los sólidos suspendidos en el agua de recirculación, los cuales se muestran en la Tabla # 3.

TABLA # 3

COMPOSICION QUIMICA DE LA "LAMA" DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR Y LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS EN EL AGUA DE RECIRCULACION
(UNIDAD: % PESO)

	PERDIDAS POR IGNICION	COMPONENTES INSOLUBLES EN ACIDO	FIERRO Y ALUMINA	MICROFLO-RA
- Lama en los Intercambiadores de calor.	31.0	38.0	25.0	Flóculos, Zoologia
- Sólidos suspendidos en el agua de recirculación.	43.8	27.8	15.0	Zoologia, bacterias filamentosas

2.4 Factores que Influyen en la Formación de la Lama

Desde que los microorganismos en el agua de recirculación juegan un rol importante en la formación de la lama, los ambientes de su crecimiento en el agua de enfriamiento serán aquí discutidas.

2.4.1 Temperatura del Agua

En un sistema de agua de enfriamiento del tipo recirculación abierta, la temperatura del agua es mantenida en 20 ~ 40 °C en el transcurso del año, y para la mayoría de los microorganismos la

temperatura óptima para su crecimiento está dentro de este rango.

2.4.2 pH

El pH del agua de recirculación es usualmente cercano al rango neutral. Nuevamente, este representa un rango de pH ideal para la mayoría de microorganismos. Así el ambiente es prácticamente favorable para varios tipos de algas y bacterias que frecuentemente se observa en la lama, y ofrece una posibilidad para el crecimiento de los microorganismos de "fungi" y "mold" (favorecen la fermentación) para los cuales el pH óptimo es ligeramente ácido.

2.4.3 Nutrientes

La fuente principal de nutrición para los microorganismos consiste en el carbón, nitrógeno y fosfato. Ellos toman estos elementos para crecer y reproducirse en los óptimos rangos de pH y temperatura. Debido a que el agua de enfriamiento contiene sólo trazas de sustancias orgánicas, su contenido se incrementa cuando el agua es concentrada durante la recirculación a través de un sistema abierto.

Un suministro adicional de sustancias orgánicas es proporcionado por las algas que ingresan al sistema a través del reservorio de agua de enfriamiento, debido a que ellas producen el metabolismo y fallecen en el proceso de crecimiento y propagación a través de la fotosíntesis, empleando la energía solar

y el CO₂ en el agua de recirculación. Los lugares donde crecen las algas ofrecen un ambiente favorable para el crecimiento de otros microorganismos.

De otro lado, las sustancias orgánicas son también introducidas del exterior del sistema junto con el polvo y sedimento que ingresan con el aire a la torre de enfriamiento. Estas materias orgánicas e inorgánicas se sedimentan en el fondo de la poza de la torre, y otras zonas de baja velocidad de flujo, y como resultado estos sedimentos también proveen un ambiente adecuado para el crecimiento de los microorganismos. Fugas de nutrientes del lado del proceso, también han sido frecuentemente una causa del crecimiento acelerado de los microorganismos.

En el caso de las Plantas de Fertilizantes nitrogenados, el ingreso de amoníaco al agua de enfriamiento puede ser un factor letal para el tratamiento anticorrosivo del sistema.

2.4.4 Oxígeno Disuelto

En una torre de enfriamiento de un sistema de recirculación abierto, el agua circulante y el aire están constantemente en contacto tal que el oxígeno disuelto en el agua se encuentra en un estado de saturación.

Como resultado, el agua recirculante provee un ambiente probable para el crecimiento de microorganismos aeróbicos, tal como la "Zoogloea". De otro lado, las superficies metálicas cubiertas con

"lama" y los lugares ricos en depósitos, como la poza de la torre de enfriamiento, proveen un ambiente favorable para el crecimiento de las bacterias anaeróbicas como las del tipo sulfato-reductoras.

2.5 Los Inhibidores de la "Lama"

La causa fundamental del problema de la lama es la propagación de las bacterias en el sistema. Las contramedidas, por lo tanto, significan la prevención del crecimiento de las bacterias, y por este propósito, varias clases de germicidas son empleados. En los sistemas de agua de enfriamiento de tipo recirculación abierta, sin embargo, el tiempo de retención del agua de enfriamiento es prolongado y las bacterias y desechos en el aire ingresan a través de la torre de enfriamiento hacia el agua del sistema y consecuentemente es difícil prevenir completamente la ocurrencia del problema de la lama solamente por medio del uso de germicidas. Luego la acumulación de porciones de lama deviene en la formación de flóculos que atentan contra el sistema de enfriamiento.

Como un resultado de lo anterior, el uso de inhibidores de adhesión de flóculos y remoción de los mismos por filtración parcial del agua de recirculación, ha sido puesto en práctica. Además de esto, mejoras en la calidad del agua, como protección de la luz solar y remoción de los nutrientes en el agua, pueden ser consideradas como medidas para la prevención del problema de la formación de lama.. Estas medidas, sin embargo, son difíciles de aplicar en los sistemas de agua de enfriamiento de tipo recirculación abierto, perteneciendo al campo

de los problemas de construcción y consideración para la economía de la inversión.

Del punto de vista del mecanismo de formación de la lama, las siguientes medidas pueden ser consideradas para la prevención de la lama.

2.5.1 Tratamiento Germicida

Para el tratamiento germicida son empleados el gas de cloro y el hipoclorito de sodio que son rápidamente efectivos y altamente germicidas. La concentración del dosaje es considerada adecuada si un residual de cloro de 0.2 ~ 1.0 ppm es detectado en el agua de recirculación. Si el residual de cloro es mantenido en la concentración anterior en un período de 2 a 4 horas, las colonias de bacterias en el agua de recirculación serán totalmente exterminadas y tomará de 12 a 24 horas hasta que un número considerable de nuevas colonias de bacterias sean detectadas en el sistema. No es necesario, por lo tanto, dosar los germicidas continuamente y un dosaje intermitente de una a dos veces por día es considerado como una práctica normal.

La acción corrosiva de los productos químicos del tipo del cloro, frecuentemente se convierten en un problema y es que si la concentración del cloro residual excede 0.4 ppm, la velocidad de la corrosión se incrementa. Sin embargo, como se muestra en la Tabla 4 la velocidad de la corrosión no se incrementará si se emplea la concentración residual de cloro que es la

que se usa para los propósitos de control de la lama y si también el inhibidor de corrosión apropiado es dosado.

Tabla # 4

INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO CON CLORO SOBRE EL EFECTO DEL INHIBIDOR DE CORROSION

INHIBIDOR DE CORROSION (ppm)	RESUDUAL DE CLORO (ppm)	PERDIDA DE PESO POR CORROSION (mg)
30	0	4.8
30	3.0	5.6
0	0	453.2

2.5.2 Prevención de Adhesión de la "lama"

Algunos "eslaimicidas" como los compuestos de amonio cuaternario son usados para prevenir la adherencia de los flóculos biológicos mediante la desnaturalización.

A través del empleo de estos productos químicos a un dosaje de 100 a 200 ppm una vez cada 3 - 10 días, se obtienen buenos resultados en la prevención del problema de la "lama".

Desde que los productos químicos de este tipo son considerablemente inferiores a los de los productos a base de cloro en cuanto a su poder de esterilización, los últimos son normalmente usados en combinación con los primeros en el tratamiento contra la adhesión de la "lama".

2.5.3 Filtración

Cuando existen en el agua de reposición flóculos conteniendo microorganismos, es muy efectivo para la prevención de la lama filtrar el agua a través de la arena antes de inyectarla al sistema. También a veces ocurre que cuando el número de ciclos de concentración es muy alto o cuando se emplea como agua de reposición un tipo de agua, como el agua de desecho tratada, que es adecuada para la propagación de las bacterias; la formación de flóculos como lodo no puede ser eliminada solamente por el uso de "eslaimicidas".

En tales casos, se emplea un método por el cual solamente una parte del agua de enfriamiento en recirculación es filtrada para remover los flóculos.

Normalmente la capacidad de tal filtración parcial es considerada suficiente, si el filtro puede procesar de 2 a 5% del volumen total del agua en recirculación.

2.6 Especificación de los inhibidores de lama

Tabla # 5

Tipos Especificaciones	K-4	K-5	K-3
Principales Ingredientes	Compuesto a base de cloro	Catión Surfactante	Compuestos nitrogenados
Apariencia	Tabletas blancas	Líquido de color amarillo ligero	Líquido incoloro
pH (1% solución)	11.7	8.0	10.3
Grav.Espec.(25°)	1.8	1.0	1.02
Dosaje (ppm)	0.5 ~ 1.0	50 ~ 100	100 ~ 200
Uso	General	General	Sistema de agua de enfriamiento cerrado

3. El Problema de las Incrustaciones y sus Inhibidores

3.1 El Problema de las Incrustaciones

Las incrustaciones (scale) son definidas como un depósito sobre la superficie del metal de las sustancias disueltas o suspendidas en el agua. Los problemas debido a las incrustaciones incluyen la reducción de la eficiencia del intercambiador de calor, incremento de la caída de presión debido a una mayor resistencia en las redes de tubería y la obstrucción de los tubos de diámetro pequeño.

Tal como se ha reseñado, las incrustaciones pueden generar una corrosión localizada.

Las incrustaciones en un sistema de agua de enfriamiento de tipo recirculación abierto,

usualmente consiste de carbonato de calcio, óxidos de fierro, sílice y fosfato de calcio.

Dentro de éstos, los óxidos de fierro son productos de corrosión y, dependiendo del inhibidor que es usado, son hallados en cantidades pequeñas insignificantes, que pueden ser despreciadas como causa de un problema. La sílice es incluida en la lama y un apropiado control reduce ampliamente su contenido. En cuanto al fosfato de calcio, éste puede ser efectivamente controlado mediante una apropiada dosificación del fosfato condensado, y de este modo no necesita ser considerado dentro del sistema de prevección de las incrustaciones.

Por estas razones, la verdadera fuente de suministro del problema de las incrustaciones puede ser limitado al carbonato de calcio. Consecuentemente, la discusión aquí sera confinada a las incrustaciones de carbonato de calcio.

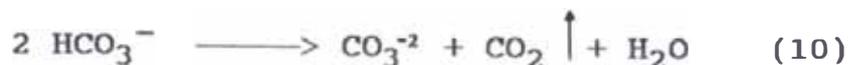
3.2 La formación de las Incrustaciones

El carbonato de calcio precipita en un sistema de agua de enfriamiento, de tipo recirculación abierto, por varias causas llegando a estar el agua sobresaturada de este compuesto. Algunas de las causas son las siguientes :

(i) Incremento de la concentración de carbonato de calcio debido a la concentración del agua circulante.

(ii) Reducción de la solubilidad del carbonato de calcio acompañada de un aumento en la temperatura del agua.

(iii) Incremento de la concentración de iones de carbonato de calcio debido a la descomposición térmica de los iones de bicarbonato.



En la capa límite adyacente a la superficie de transferencia de calor de los intercambiadores, usualmente la temperatura aumenta más que en la masa de agua circulante, por lo cual en las causas (ii) y (iii) de arriba la precipitación del carbonato de calcio sobre la superficie de temperatura de transferencia de calor, empieza antes que en la masa del agua de circulación.

Por esta razón, las incrustaciones son halladas en los intercambiadores y aún antes que las partículas de carbonato de calcio hayan sido detectadas en el agua.

Los depósitos de carbonato de calcio en las superficies del metal, ocurren por las siguientes razones :

(i) La superficie del metal puede proporcionar núcleos para la cristalización del carbonato de calcio proveniente de una solución sobresaturada.

(ii) Las partículas de carbonato de calcio precipitadas en un líquido, están cargadas positivamente, de tal manera que ellas son atraídas eléctricamente a la superficie del metal, especialmente en las áreas catódicas de las celdas de acción local.

3.3 El mecanismo de formación de las incrustaciones y su inhibición

Si un material que cuenta con una relativa pequeña solubilidad en el agua, es disuelto en ella en una concentración marcadamente mayor que su solubilidad, ocurrirá un fenómeno de formación de "semillas" en la solución para luego formar el núcleo de los cristales y posteriormente las incrustaciones.

En esta manera, la incrustación es siempre formada por la formación del núcleo del cristal a partir de numerosos microcristales para luego crecer y formar los granos de cristal. Luego los granos de cristal rugosos son coagulados para promover la formación de la incrustación. "El fenómeno de formación de semillas", se explica como sigue : Los núcleos de los cristales parecen que se generan por la formación de grupos moleculares debido a la fluctuación de la energía de distribución por el movimiento "Brownian" de las sustancias disueltas que forman las incrustaciones.

De acuerdo con lo anterior y con fines de prevenir la formación de las incrustaciones, las siguientes medidas pueden ser efectuadas :

(i) El tamaño de las partículas de los microcristales formados, deben ser uniformes a fin de prevenir la generación de los granos rugosos.

(ii) Prevenir la coagulación entre los granos de cristal que han crecido (dispersión).

(iii) La formación de granos rugosos de los cristales es prevenida por la distorsión de las superficies del núcleo de los cristales, los

cuales tienden normalmente a crecer formando los granos rugosos. (distorción del cristal).

3.4 Factores que afectan la formación de las incrustaciones

3.4.1 Concentración del ión calcio y del ión carbonato.

Desde que el carbonato de calcio es una sal difícilmente soluble, empieza a precipitar cuando el producto iónico de los iones calcio y carbonato (Ca^{2+})(CO_3^{2-}) alcanza un cierto valor. Por lo tanto, como se muestra en la Fig. # 11, cuando la concentración del ión carbonato es constante, la cantidad de depósito de incrustaciones sobre las superficies de transferencia de calor incrementa con la concentración del ión calcio.

De otro lado, cuando la concentración del ión calcio es constante, los depósitos incrementan con la concentración del ión carbonato.

3.4.2 pH

El ión carbonato en el agua se encuentra en el siguiente estado de equilibrio :



Cuando el pH se incrementa, el equilibrio se desplaza hacia el lado derecho con el resultado que la concentración del ión CO_3^{2-} en el agua se incrementa, aún cuando la concentración total del ión carbonato se mantiene constante.

Consecuentemente, para un mayor valor de pH, una mayor cantidad de incrustaciones ("Scale") es depositada (fig. # 12).

3.4.3 Temperatura del agua y transferencia de calor en un intercambiador

A medida que la temperatura del agua circulante se incrementa, la solubilidad del carbonato de calcio decrece y la descomposición térmica convierte más ión bicarbonato a ión carbonato, de tal manera que las incrustaciones se incrementan

Aún si la temperatura del agua circulante es constante y la temperatura del lado del proceso es mayor que la temperatura del agua de enfriamiento, se incrementarán las incrustaciones a medida que la temperatura aumenta en la capa límite del lado del agua de enfriamiento. (fig # 13)

3.4.4 Velocidad de Flujo

A medida que la velocidad del flujo se incrementa, las incrustaciones son mecánicamente removidas y la temperatura del agua en el límite (de la capa) también decrece, por lo cual el volumen de incrustación sobre la superficie de transferencia de calor llega a ser menor (Tabla # 6).

Tabla # 6

VELOCIDAD DE FLUJO (cm/seg)	INCRUSTACION (mg)
62.5	247
40.0	1,062
18.0	1,675

Condiciones de la prueba :

Dureza cálcica	300 ppm como CaCO ₃
pH	8
Material de Tubos	Acero dulce (160 cm ²)
Temp.lado agua fría	36 C°
Temp.lado agua calien.	45 C°

3.4.5 Sales disueltas

A medida que se incrementa la concentración de sales disueltas, la actividad de los iones calcio y carbonato declina, de tal manera que llega a ser muy difícil la formación de las incrustaciones. Este efecto es despreciable para concentraciones de sales disueltas debajo de 2,000 ppm.

3.5 Los métodos de inhibición de las incrustaciones

La formación de las incrustaciones de carbonato de calcio es prevenida, tanto por el mantenimiento de la concentración del carbonato de calcio en el agua de recirculación suficientemente baja, para evitar la formación de las incrustaciones sobre los intercambiadores

de calor; como por la prevención de que el carbonato de calcio precipitado se deposite sobre las superficies del metal. Para el primer caso, la práctica común es reducir los ciclos de concentración del agua recirculante, o mantener el pH debajo de 7 para eliminar el ión carbonato en el agua; agregando un ácido con el cual las sales de calcio tienen una alta solubilidad (ejemplo, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico). Para el segundo caso, se aplican inhibidores de incrustaciones, tales como; el polifosfato, fosfonato y polímeros sintéticos y naturales.

Ciertas veces como un caso especial, las aguas ablandadas son usadas como agua de reposición con el fin de mantener una baja concentración de calcio en el agua de enfriamiento. El mayor costo de este tipo de agua, restringe su empleo a dichos casos.

3.5.1 Ajuste de los ciclos de concentración

El agua de reposición para un sistema de agua de enfriamiento, usualmente una solución no saturada de carbonato de calcio.

Por lo tanto, es posible prevenir las incrustaciones manteniendo los ciclos de concentración del agua recirculante a un nivel constante, donde la concentración del carbonato de calcio es retenida suficientemente baja para evitar la formación de las incrustaciones. Para aplicar este método, es necesario hallar los ciclos de concentración del agua de reposición, a los cuales se forman las incrustaciones de carbonato de calcio.

Para estimar la concentración crítica a partir de las cifras de los resultados analíticos del agua, la práctica convencional viene empleando los Índices de Langelier y de Ryznar. Estos índices, sin embargo, han sido diseñados para ser empleados en la formación de películas protectoras de carbonato de calcio en las redes de tuberías de agua.

En otras palabras, el estimado es efectuado para condiciones comunmente encontradas en los sistemas de agua de enfriamiento del tipo recirculación abierto, tales como cambios en la calidad del agua en el proceso de circulación y concentración del agua de enfriamiento, o diferencias en la calidad entre la masa principal del agua y la porción de agua que se encuentra en la capa límite sobre la superficie de transferencia de calor.

3.5.2 Ajuste con ácido del pH del agua de recirculación

Como mencionamos anteriormente, el carbonato de calcio precipita en el agua cuando el valor de $(Ca^{2+})(CO_3^{2-})$ alcanza un cierto nivel. Consecuentemente, el carbonato de calcio no precipita dependiendo de cuán abundante sea el ión calcio, sino de la cantidad del ión carbonato que está presente.

El estado de equilibrio expresado por :



es dependiente del pH. A valores de pH por debajo de 7.3, el CO_3^{2-} está ausentes y sólo el H_2CO_3 y el HCO_3^- están presentes.

Por lo tanto, adicionando ácido al agua de recirculación y manteniendo su pH debajo de 7.3, puede ser posible la prevención de la formación de incrustaciones.

CAPITULO IV

HISTORIA DEL TRATAMIENTO QUIMICO DEL AGUA EN EL SISTEMA ORIGINAL DE LA PLANTA DE FERTILIZANTES

4.1 Sistema de Agua de Enfriamiento Original

4.1.1 Descripción del Sistema Original

Es un Sistema del tipo recirculación abierta, que emplea como agua de reposición una mezcla en la proporción de 2.25/1 de agua destilada con una agua condensada proveniente del proceso de fabricación de amoníaco. El análisis químico de estas corrientes es descrito en las Tablas # 7 y 8.

Este sistema era el encargado de retirar la carga calórica de los enfriadores y condensadores de las Plantas de Amoníaco y Urea, cuyo valor total normal alcanzaba los 18×10^6 Kcal/hr.

El agua en recirculación del sistema tenía como principal característica una Dureza Cálcica de valor cero, precisamente por provenir el agua de reposición de fuentes exentas de este compuesto.

El sistema original era del tipo de baja relación de concentración (1.5 ~ 1.6) y sus consumos promedio de agua de reposición y purga era de 65 y 40 M³/hr, respectivamente (fig.# 14)

Cabe indicar que la metalurgia del sistema de enfriamiento está compuesta en un 95 por material ferroso y sólo en un 5 % por acero inoxidable del tipo 316L.

TABLA # 7

ANALISIS QUIMICO DEL AGUA DESTILADA DE REPOSICION

	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO
Turbidez	0.00	0.00	0.00
pH	6.18	6.00	6.40
Conductividad	2.72	1.80	4.60
STD (ppm)	4.30	4.00	6.00
Aniones Totales (ppm)	0.98	0.30	1.96
Cationes Totales(ppm) -	0.98	0.30	1.96
Alcalinidad M	0.52	0.30	0.90
Alcalinidad P	0.00	0.00	0.00
Dureza Total (ppm)	0.36	0.30	0.60
Fierro (ppm)	0.05	0.01	0.15
Cobre (ppm)	0.08	0.04	0.14
Na y K (ppm)	0.37	0.00	1.10
Cl- (ppm)	0.29	0.10	0.46
SiO2 (ppm)	0.01	0.00	0.03
SO4 (ppm)	0.32	0.09	0.78

TABLA # 8

ANALISIS QUIMICO DEL CONDENSADO DE PROCESOS

PRUEBAS REALIZADAS	Promedio Mensual											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	
pH	7.0	7.3	7.0	6.9	7.0	7.0	7.0	6.9	6.7	7.0	6.9	
Al - M (ppm)	1,500	1,600	1,380	1,500	1,650	1,450	1,600	1,900	2,000	1,450	1,650	
NH4+ (ppm)	490	480	362	470	520	520	490	560	590	420	580	
Cl- (ppm)	0.5	0.06	0.06	0.05	0.08	0.05	0.7	0.12	0.6	0.12	0.4	
Conductividad	2,900	3,100	2,700	2,650	2,800	2,600	2,850	2,900	2,800	2,700	2,850	

NOTA.- Datos obtenidos en el año 1,976.

Una de las características más importantes del sistema de enfriamiento es que en su recorrido se encuentran Enfriadores de Alta Presión (Planta de Amoníaco) que operan con un flujo de agua de baja velocidad por el lado del casco (0.3 ~ 0.5 m/seg.), debido a las condiciones del proceso, y esto facilita la generación de áreas de estancamiento alrededor de los "baffles" y soportes de los tubos y la consiguiente corrosión localizada por la acción bacteriana sobre la superficie de los tubos (picaduras). En el Anexo # 17 se muestra un cuadro con la velocidad de flujo y otras características de los enfriadores y condensadores del sistema de enfriamiento.

4.1.2 Balance de agua del Sistema y Productos Químicos que empleaba

Las condiciones de operación en el sistema original son mostradas en la Tabla # 9.

Tabla # 9

**CONDICIONES DE OPERACION EN EL SISTEMA ORIGINAL DE AGUA
DE ENFRIAMIENTO
(Tipo Recirculación Abierto)**

BALANCE DE AGUA	Flujo de agua en recirculación	1635 m ³ /hr		
	Volum.de agua de sistema	500 m ³		
	Variación de Temp. a través de la Torre	Temp.:8.5 °C		
	Pérdidas por Evaporación	25 m ³ /hr		
	Purga Total	40 m ³ /hr		
	Agua de reposición :			
	- Agua Destilada	45 m ³ /hr		
- Condensad.Pta.Amoníaco	20 m ³ /hr			
- Total	65 m ³ /hr			
Relación de Concentración	1.7 ~ 1.6			
TRATAMIENTO QUIMICO	Producto	Función	Concentración	Consumo
	K-1	Inhibid. Corros.	35~45 ppm x purga	40 Kg/día
	K-2	Dispers. de Inorganicos	10~30 ppm x purga	20 Kg/día
	K-3	Removed. de Lama	100 ppm x Vol del sistema	50 Kg/semana
	NaOCl Hipoclorito de Sodio al 10%	Biocida	0.5~1.0 ppm Cloro Residual	100 Kg/día

Las condiciones de operación del sistema original, están referidas a aquella condición

que existían en el año 1,982, antes de entrar en funcionamiento el nuevo sistema de agua de enfriamiento.

4.1.3 Análisis Químico del Agua en Recirculación

En la Tabla # 10 se muestra el análisis químico del agua de recirculación en el sistema original.

Uno de los detalles más importantes de la Tabla es que el agua en recirculación no posee dureza cálcica, debido a que las fuentes de agua de reposición (destilado y condensado) tampoco la contienen. De otro, la presencia del ión amonio nos muestra el rasgo típico de la presencia de un nutriente en el sistema de enfriamiento de las Plantas de Fertilizantes Nitrogenados.

4.1.4 Historia del Tratamiento Químico del Agua en el Sistema Original. Resultados Obtenidos

En la Tabla # 11 se muestra un cronograma de los distintos tratamientos de la firma internacional "K", que fueron aplicados al sistema desde el arranque inicial de la Planta de Fertilizantes, Febrero 1,975, hasta Diciembre 1,982.

Algunos antecedentes importantes son enumerados a continuación :

a) El Tratamiento Químico inicial y los subsiguientes, no fueron diseñados por Petroperú, ni por el Proyecto Fertilizantes que tuvo a cargo la coordinación con las Compañías Constructoras (Contrato tipo "llave en mano").

b) La firma Toyo Engineering Corp., encargada de la construcción de la Planta de Servicios

TABLA # 10

ANALISIS QUIMICO DEL AGUA EN RECIRCULACION EN EL
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ORIGINAL

ANALISIS	PROMEDIO
pH	7.90
Conductividad, uv/cm	335.00
Turbidez, ppm	13.68
Dureza al Ca, ppm como CaCO ₃	0.00
Dureza Total, ppm como CaCO ₃	0.00
Alcalinidad "M", ppm como CaCO ₃	87.00
Fe, ppm	0.34
Cl ⁻ , ppm	1.79
COD, ppm	1.60
SiO ₂ , ppm	0.16
S.T.D., ppm	150.00
NH ₄ ⁺ , ppm	62.00
Orto fosfato (O-PO ₄), ppm	0.00
Fosfato Total (PO ₄), ppm	18.50
K - 2, ppm	20.00

TABLA # 12

COSTO ANUAL DEL TRATAMIENTO QUIMICO DE LA FIRMA INTERNACIONAL "K"

"TRATAMIENTO TIPO FOSFATO - ZINC"

BASES : AGUA DE REPOSICION : 65 m³/Hr

PURGAS : 45 m³/Hr

RELACION DE CONCENTRACION : 1.4 ~ 1.6

ITEM	PRODUCTO QUIMICO	FUNCION	CONCENTRACION	DOSIFICACION	CONSUMOS			COSTOS US \$			PROCEDENCIA
					DIARIO (KG)	SEMANAL (KG)	ANUAL (KG)	\$/KG FOB	ANUAL FOB	ANUAL CIF	
1	K-1	INHIBIDOR DE CORROSION	35-45 PPMxPURGA	CONTINUA	43.2	15,768	15,768	3.15	49,669.2	62,598.96	EXTRANJERO
2	K-2	DISPERSANTE DE INORGANIC.	10-30 PPMxPURGA	CONTINUA	21.6	7,884	7,884	4.85	38,237.4	44,871.56	EXTRANJERO
3	K-3	REMOVEDOR DE LAMA	100 PPM x VOL. DEL SISTEMA	1 DIA/SEMANA	50	2,687	2,687	6.14	16,837.0	21,838.49	EXTRANJERO
4	HITOCLO-PILO DE SODIO (NACIONAL 18%)	BIOCIDA	0.5-1.0 PPM DE CLORO RESIDUAL	3 HORAS/DIA	100.0	36,588	36,588	0.07	2,555.0	2,555.00	NACIONAL
TOTAL :								106,468.6	130,264.01	CIF=122%FOB	

NOTA : LOS COSTOS CIF SON RELATIVOS A TALARA Y SON LOS VIGENTES A FEB.82, SEGUN EL REPORTE DEL DEPARTAMENTO DE LOGISTICA DE LOGISTICA DE PETROPERU, Y TIENEN UN RECARGO DE 22% SOBRE EL PRECIO FOB SEGUN DISPOSICIONES LEGALES SOBRE IMPORTACION DE PRODUCTOS QUIMICOS.

Auxiliares, solicitó el diseño del Tratamiento Químico a la Compañía Internacional "K".

c) Los tratamientos químicos del primer y segundo período fueron diseñados para proteger el sistema contra la corrosión generalizada, pero la Corrosión localizada (bacteriológica) sólo fue prevenida en forma parcial.

4.1.5 Costo del Tratamiento Químico

En la Tabla # 12 se muestra un Cuadro sobre el cálculo del costo anual del paquete de productos químicos para el sistema de agua de enfriamiento. A excepción del biocida (Hipoclorito de Sodio) el resto de productos químicos eran importados.

4.2 Nuevo Sistema de Agua de Enfriamiento

4.2.1 Descripción del Nuevo Sistema

El nuevo sistema es producto de la instalación de dos fuentes recolectoras de purgas del sistema original, tanto en la Planta de Amoníaco como en la de Urea, en las cuales también se recolectan algunas corrientes de agua destilada y condensada de vapor que antes eran enviadas a las canaletas de desagüe industrial. (Fig. # 15)

Las fuentes están permitiendo la recuperación de aproximadamente 25 TM/Hr en la Planta de Amoníaco y de 5 TM/Hr en la Planta de Urea, haciendo un total de 30 TM/Hr con lo cual la purga original de 40 TM/Hr se ha reducido a 10 TM/Hr, que es el valor promedio con el que viene operando actualmente el sistema, permitiendo que la Planta de Fertilizante opere

hasta 100 de carga sin problemas de tipo operativo.

4.2.2 Balance de Agua y de los Productos Químicos

En el Tabla # 13 se muestran los nuevos valores para el balance del sistema de enfriamiento, y en el se aprecia que la relación de concentración actual se encuentra en un rango de 3.0 a 3.8. Salta rápidamente a la vista que este sistema de elevada relación de concentración no hubiera sido posible si antes no se realiza un exhaustivo estudio sobre el comportamiento de los productos químicos, especialmente de los inhibidores de corrosión y de los microbiocidas, que con el nuevo sistema de recuperación de purgas aumentan su vida media dentro del mismo y pueden degradarse o revertir a productos indeseables (caso de los polifosfatos a ortofosfatos), y también la nueva tendencia que adquiere el sistema de incrementar rápidamente la población de bacterias que pueden generar corrosión por presencia de la lama.

Tabla # 13

CONDICIONES DE OPERACION DEL NUEVO SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO

-Volumen de agua en recirculación	: 1635 m ³
- Volumen de agua del sistema	: 500 m ³
- Variación temperatura a través de la Torre	: 8.5 °C
- Pérdida por evaporación	: 27 m ³ /hr
- Purga Total	: 10 m ³ /hr
- Agua de Reposición	
Agua destilada	: 18 m ³ /hr
Condensado de la Planta de Amoníaco	: 19 m ³ /hr
Total	: 37 m ³ /hr
- Relación de Concentración	: 3.0 ~ 3.8

Se aprovechó esta situación para poner en práctica en el sistema, por primera vez, la inyección de Hidróxido de calcio con el fin de otorgarle la dureza que requiere el agua de enfriamiento para formar la película protectora de fosfato de calcio. Asimismo, se inició la aplicación de cloro gaseoso como agente biocida en reemplazo del compuesto líquido hipoclorito de sodio, el cual tenía ciertos problemas logísticos para su empleo.

Todo esto fue evaluado previamente en el Laboratorio de la Planta, se realizaron consultas con los proveedores de productos químicos para el tratamiento, se analizaron las experiencias propias y finalmente se concluyó que el nuevo proyecto era viable y que sus bondades permitiría el arranque y producción de la Planta de Fertilizantes, en un principio a sólo 55 % de carga debido a que el compromiso de suministro a la Refinería era de 50 TM/Hr de agua destilada a través de la línea temporal que unía a ambas Plantas (meses de Noviembre y Diciembre de 1,983), y posteriormente se llegó hasta 100 % de carga con un compromiso de entrega máximo de 30 m³/Hr, considerando que la máxima producción de la Planta Desalinizadora es de 120 TM/Hr.

Los Fig. # 16 describe en forma detallada el diagrama de flujo de la red de consumo de agua destilada en la Planta de Fertilizantes y los balances efectuados en el diseño del nuevo sistema.

4.2.3 Evaluación de Tratamientos Químicos Empleados en el Nuevo Sistema

El sistema de agua de enfriamiento del Complejo de Fertilizantes se ha convertido en un sistema de alta tasa de recuperación de agua, que le permite reducir el volumen de reposición pero con las desventajas de que las corrientes de recuperación están expuestas a la contaminación por bacterias y sólidos provenientes del medio ambiente. Por lo tanto, es sumamente necesario la implantación de un tratamiento microbiológico y de dispersión del ensuciamiento inorgánico que permita mantener la operación eficiente del sistema.

4.2.3.1 Experiencia con el Tratamiento Químico de la Firma Internacional "K"

Se ha mantenido el tratamiento químico con los mismos productos de la firma "K" que veníamos utilizando desde antes de poner en práctica el sistema de recuperación de purgas (Nov. 1, 1983).

Para las nuevas condiciones de operación se realizó un programa de tratamiento que se indica en el Anexo # 3, que fue recomendado a nuestra solicitud por la misma firma y conjugado con nuestra experiencia en tratamientos.

Los Anexos # 8, 9 y 10, nos muestran la calidad del agua de reposición, tanto destilado como condensado, y muy especialmente en este último se aprecia la nueva calidad del agua de enfriamiento en comparación con la que exhibía el sistema original.

TABLA # 14

**PLANTA DE FERTILIZANTES
SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO
TRATAMIENTO DE LA FIRMA INTERNACIONAL 'K' (ABRIL 84-DICIEMBRE 84)**

FECHA	BALANCE DE AGUA											RC	OBSERVACIONES
	FLUJO RECIRCULAC. (M3/H)	DELTA TEMPERATURA °C	AGUA DE REPOSICION			PERDIDAS			TOTAL (M3/H)	PURGA (M3/H)	TOTAL (M3/H)		
			DESTILADO (M3/H)	CONDENSADO (M3/H)	TOTAL (M3/H)	EVAPORACION (M3/H)	GOTEO (M3/H)						
08/04/84	1486	9.80	17.25	19.35	36.60	26.48	1.49	8.64	36.60	3.62	- LOS DATOS HAN SIDO TOMADOS CON LA PLANTA A 100% DE CARGA.		
18/04/84	1503	9.90	13.80	19.60	33.40	27.05	1.50	4.84	33.40	5.26			
18/05/84	1536	10.30	47.88	20.00	67.88	28.77	1.54	37.58	67.88	1.74			
24/05/84	1516	10.30	28.98	19.60	48.58	28.39	1.52	18.67	48.58	2.41			
08/06/84	1569	9.60	8.40	29.50	37.90	27.39	1.57	8.94	37.90	3.60			
27/06/84	1456	9.40	14.00	19.90	33.90	24.88	1.46	7.56	33.90	3.76			
12/07/84	1506	9.10	12.60	19.40	32.00	24.92	1.51	5.58	32.00	4.52			
23/07/84	1586	10.20	15.30	20.00	35.30	29.41	1.59	4.30	35.30	6.00			
10/08/84	1496	9.80	33.16	19.50	52.66	26.66	1.50	24.51	52.66	2.03			
27/08/84	1466	10.00	23.70	19.50	43.20	26.65	1.47	15.08	43.20	2.61			
05/09/84	1541	10.10	28.16	19.10	47.26	28.30	1.54	17.42	47.26	2.49			
26/09/84	1426	10.10	15.00	19.90	34.90	26.19	1.43	7.29	34.90	4.01			
03/10/84	1386	10.00	12.50	19.60	32.10	25.20	1.39	5.51	32.10	4.65			
26/10/84	1461	10.00	25.00	20.00	45.00	26.56	1.46	16.98	45.00	2.44			
07/11/84	1466	10.20	21.33	20.27	41.60	27.19	1.47	12.95	41.60	2.89			
23/11/84	1486	10.00	20.00	52.10	72.10	27.02	1.49	43.60	72.10	1.60			
01/12/84	1511	10.00	32.70	19.00	51.70	27.47	1.51	22.72	51.70	2.13			
31/12/84	1431	9.90	19.67	19.90	39.57	25.76	1.43	12.38	39.57	2.86			
PROMEDIOS	1490	9.94	22.40	22.33	44.73	26.92	1.49	16.32	44.73	3.11			

NOTA :
RC. = TOTAL AGUA REPOSICION
GOTEO + PURGA

En la Tabla # 14 se muestra los resultados del Balance de Agua aplicado al nuevo sistema durante el tratamiento de la firma "K", y se aprecia una Relación de Concentración promedio de 3.11 .

La Tabla # 15 nos muestra el resultado de los cupones de corrosión instalados en el sistema, expresándose que el tratamiento dio resultados esperados por cuanto se obtuvo valores menores de 3.5 mpy.

Tabla # 15
CONTROL DE CORROSION EN EL NUEVO SISTEMA DE AGUA DE
ENFRIAMIENTO
RESULTADO DE LOS CUPONES INSTALADOS (mpy)

PERIODO	DIAS DE EXPOSICION	<u>mpy</u>	OBSERVACIONES
08.10.83 al 26.10.83	18	1.04	Tratamiento especial de pasivación con productos "K" efectuado al sistema el 09.09.83. Este tratamiento se realizó estando los enfriadores sin carga calorífica. (Ptas. de procesos fuera de servicio.
26.10.83 al 30.11.83	34	1.28	Cupón recubierto con película protectora con algunas líneas de color oscuro. Planta de Fertilizantes fuera de servicio
30.11.83 al 19.01.84	50	1.63	Película opaca con deposiciones transparentes en ambas caras y pequeñas protuberancias color marrón oscuro. Inicio de operaciones del nuevo sistema de agua de enfriamiento, conjuntamente con el arranque de la Pta. de Fertilizantes.
19.01.84 al 01.03.84	41	2.69	Cupón con deposiciones opacas y abultadas en ambas caras de color marrón oscuro, además de presentar pequeñas deposiciones transparentes. La Planta de Fertilizantes estuvo en operación casi continua.

Se observa que en el mes de Febrero.84 se obtuvo una mayor tasa de corrosión, (2.69), en comparación con las obtenidas en los meses anteriores. Esto puede deberse al elevado potencial de formación de "lama" del sistema, por no haberse clorinado durante los meses de Enero y Febrero.84, debido a la falta

del biocida NaOCl (hipoclorito de sodio) y al poco efecto que tiene el dispersante y biostático K-3 si no es precedido por la clorinación.

En el Anexo # 11 se muestra el resultado analítico del tratamiento durante los seis meses que estuvo en vigencia (Setiembre.83 a Febrero.84).

4.2.3.1.1 Control de la Corrosión Inorgánica

Se ha mantenido la concentración original del inhibidor K-1 en el agua de recirculación (35~45 ppm) y sólo se ha aumentado el promedio de concentración del dispersante K-2, de 20~30 ppm, con fines de evitar la deposición de sólidos que el nuevo diseño tomó en consideración que se iban a incrementar por la mayor relación de concentración del sistema.

4.2.3.1.2 Control de la "lana"

Se efectúa con un tratamiento combinado de clorinación y K-3.

El K-3 tiene efecto dispersante para la lana así como un efecto biostático para eliminar las bacterias. En el rubro "Índice de adherencia" del Anexo # 11 se muestran los resultados de este tratamiento.

Durante los meses de Noviembre y Diciembre 1,983, en los cuales se efectuó el tratamiento en forma óptima, el índice de adherencia de lana se mantuvo en valores menores al

del mes de Febrero.84, en el cual no fue efectuado este tratamiento; y alcanzó valores de 15.0 para 24 horas de exposición de la placa de vidrio y 21.5 para 48 horas de exposición. Los valores aceptables son de 15-20 para 48 horas

A consecuencia de que las fuentes recolectoras de agua de enfriamiento de Planta Amoníaco y Urea, se encuentran en contacto con el medio ambiente, la contaminación microbiológica en el sistema se ha incrementado favoreciendo el crecimiento de la lama en las zonas de baja velocidad.

4.2.3.2 Experiencia de Tratamiento Químico con la firma internacional "N"

1. Objetivo

El objetivo de Planta de Fertilizantes fue evaluar este tratamiento químico por un período de siete meses, a fin de obtener una idea clara sobre la compatibilidad técnica de éste con nuestro singular sistema y contar con un tratamiento que pueda alternar con el de la compañía internacional "K", el cual se viene

utilizando desde el arranque inicial de la Planta por un período de 10 años en el antiguo sistema de agua de enfriamiento.

La evaluación del Tratamiento "N" se inició el 24 de Abril y concluyó el 05 de Diciembre de 1984.

2. Condiciones de Operación del Nuevo Sistema de Agua de Enfriamiento

2.1 Balace de Agua del Sistema

- Flujo Recirculación :1,600 m³/Hr.
- Volumen Sistema : 500 m³
- Variación de la Temp.ΔT: 9.5°C en la Torre
- Pérdida por Evaporac. :28 m³/Hr.
- Purga Total :17.6 m³/Hr.
- Agua de reposición :
 - Destilado :21.0 m³/Hr.
 - Condensado Planta de Amoníaco (*) :24.6 m³/Hr.
 - Total :45.6 m³/Hr
- Relación de Concentrac.:2.6

(*) De estos 24.6 m³/Hr., 4 m³/Hr. provienen de una fuente de recuperación de condensado y el resto del área de Remoción de CO₂.

2.2 Calidad del Agua

En los Anexos # 12, 13 y 14 se muestra la calidad promedio del agua destilada, condensado y de recirculación mantenida durante el período de evaluación del Tratamiento "N" (Abril-Diciembre 1984).

3. Descripción del Tratamiento de la firma "N"

3.1 Tipo de Tratamiento

Es un tratamiento de tipo alcalino basado en la formación de una película de polifosfato de calcio en el área catódica del circuito ferroso

del sistema. La reversión del polifosfato a ortofosfato en el agua de recirculación, permite cubrir el área anódica con este segundo compuesto.

3.2 Productos Químicos Usados

El tratamiento "N" empleó los siguientes productos durante el período de evaluación :

<u>Producto</u>	<u>Función</u>	<u>Aplicación</u>
a) N-1	Inhibidor de corrosión de tipo fosfato estabilizado.	Trat.contínuo
b) N-2	Dispersante de inorgánicos	Trat.contínuo
c) N-3	Biodispersante	Trat.contínuo
d) N-4	Biocida	Trat.contínuo
e) NaOCl (Hipoc.sodio).	Biocida	Trat.contínuo
f) CaO(Cal)	Dureza	Trat.contínuo
g) N-5	Limpieza química	Trat.inicial
h) N-6	Pasivación	Trat.inicial

NOTA:

Tratamiento Continuo. Se denomina al que se efectúa después del tratamiento inicial.

Tratamiento Inicial. Se realiza durante tres a cuatro días y su finalidad es acondicionar el sistema antes del tratamiento continuo.

3.3 Costo del Tratamiento

El costo del tratamiento las firma "N" fue de US\$ 70,000 Dólares compartidos en US\$ 10,000 para el tratamiento inicial y US\$ 60,000 en el tratamiento continuo.

3.4 Métodos de Control

3.4.1 Instalación del porta cupones de corrosión, fijado a un flujo estandar de 5 GPM, en el enfriador AE-603-B de la Planta de Amoníaco y su retiro mensual para obtener los resultados de "mpy" en cada uno de los cupones.

3.4.2 Instalación de una probeta en la línea de salida del AE-603-B (Enfriador de más baja velocidad) y la lectura de la corrosividad del agua en recirculación mediante el corrosómetro.

3.4.3 Control bacteriológico mediante el cultivo de bacterias aeróbicas y anaeróbicas, antes y después de la inyección de los biocidas.

3.4.4 Control químico de los productos en el agua de recirculación: orto y polifosfato, calcio, sólidos totales disueltos, alcalinidad, etc.

3.4.5 Balance diario de los flujos de agua del sistema de enfriamiento con fines de determinar su relación de concentración.

3.4.6 Control de la variación de las temperaturas en los intercambiadores de calor, como prevención del ensuciamiento en las zonas de baja velocidad.

4. Evaluación de los resultados del Tratamiento

4.1 Resultados Analíticos del Agua de Enfriamiento. En el Anexo #15 se muestra un gráfico con el reporte analítico del período, donde lo más importante fue:

4.1.1 Fierro : El fierro estuvo en un rango aceptable de 0.3 a 0.4 ppm., en la mayor parte de la evaluación.

4.1.2 Fosfato : El fosfato total estuvo alto (25~40 ppm) en los primeros meses de Junio, Julio y Agosto.1,984, y posteriormente descendió al nivel recomendado (15~25 ppm).

4.1.3 Ortofosfato : Estuvieron en un rango adecuado de 5~10 ppm.

4.1.4 Turbidez : La turbidez del agua mostró una brusca elevación de 50~70 ppm. a 120~145 ppm, cuando el sistema fue exigido a trabajar a una relación de concentración mayor que la recomendada.

Esta situación ocurrió en la segunda quincena de Setiembre, antes del cambio del Calentador de Salmuera de la Planta de Destilación, cuando por la menor producción de agua destilada (100 TM/Hr.) y entrega a la Refinería, el sistema operó con unRC de 4.5 a 6.8, muy superior a lo recomendado de 2.7.

Según la literatura técnica, el nivel recomendado de materia suspendida en el agua de recirculación (turbidez) es de 100-150 ppm., aunque en nuestro sistema no hemos acostumbrado a mantener estos niveles, por cuanto; si el agua está más turbia tiene mayor tendencia a formar depósitos y promover la actividad bacteriana.

4.1.4 Calcio : La dureza cálcica se mantuvo en los cinco primeros meses (70 % del período) por debajo del nivel recomendado de 30 a 60 ppm. como CaCO_3 ; estando en un rango de 15 a 25 ppm. Posteriormente en los meses de Octubre y Noviembre el nivel de calcio subió de 25 a 50 ppm. (CaCO_3).

En una oportunidad se efectuó una prueba en la Planta para conseguir la máxima capacidad de dilución de la cal y se llegó hasta 125 ppm., observándose el agua muy turbia, casi de color blanco, y con un pH de 8.5, por lo cual se mantuvo la recomendación de 30 a 60 ppm. (Como CaCO_3)

Es necesario resaltar que el contenido de calcio es muy importante porque conjuntamente con el fosfato forma la película inhibidora, y un nivel insuficiente de calcio desprotege el área catódica dándole más actividad para atraer electrones del ánodo y por consiguiente genera una mayor corrosión en el sistema.

Algunos autores sugieren que una mínima concentración de calcio de 50 ppm. (como CaCO_3) debe ser mantenida para un efectivo control de la corrosión con fosfato inorgánico.

4.1.5 pH : El pH del sistema se mantuvo en un rango de 8.1 a 8.3, dificultando siempre la acción del biocida hipoclorito de sodio, al reducir su acción a sólo un 18 % del total del cloro que se inyecta.

4.2 Control de la Corrosión - Cupones

Este tratamiento ha obtenido buenos resultados durante el período de evaluación. De 18 cupones instalados por períodos promedio de 30 días, 17 estuvieron por debajo de 5 mpy que es el valor aceptado internacionalmente, como muestra de un tratamiento químico adecuado.

El valor promedio fue de 3.31 mpy.

En el Anexo # 16 se muestran los resultados de los cupones instalados en la Planta de Amoníaco y en la de Servicios Auxiliares. Se ha cuidado de separar estos resultados por cuanto en la primera se encuentra instalado un portacupones (enfriador AE-603-B), con un dispositivo que regula el flujo a 5 GPM que es el valor técnicamente aceptado para evaluar cupones. El mpy promedio en este portacupón fue de 2.9 mpy. En el caso de la segunda, el flujo no está

controlado y se menciona sólo como una referencia.

4.3 Control Bacteriológico

De acuerdo a los resultados que se muestran en la Anexo. # 15 , podemos deducir lo siguiente :

4.3.1 En el período la población de bacterias aeróbicas se ha mantenido en un rango de 10^4 a 10^6 Col/ml, antes de la inyección de los biocidas, y de 0 a 10^3 después de la aplicación. Solamente en la primera quincena de Agosto se alcanzó un nivel de bacterias de 10^8 Col/ml., pero fue por motivo que recién se estaba iniciando la aplicación del cloro gaseoso como biocida y no se podía controlar la dosificación adecuada. Luego, este biocida se comportó en forma muy efectiva trayendo los niveles bacteriológicos prácticamente a cero.

En síntesis, el tratamiento biocida contra las bacterias aeróbicas ha sido satisfactorio durante el período de evaluación, manteniéndose el sistema bajo control; que es lo más importante.

4.3.2 Igualmente el tratamiento contra las bacterias sulfo-reductoras ha sido completamente efectivo, habiéndose mantenido en un nivel de cero en un 95 % del período.

Solamente al inicio se encontró bacterias sulfo-reductoras, pero posiblemente eran rezagos del sistema que estuvo fuera de servicio por mantenimiento del Compresor de Recirculación (AK-603) de la Planta Amoníaco.

4.3.3 El punto mas saltante del tratamiento bacteriológico fue el inicio de una aplicación conjunta del biocida N-4 del tipo no-oxidante, con el hipoclorito de sodio o Cl_2 gaseoso que son del tipo oxidante. Esta combinación asegura una acción bactericida sostenida por cuanto no permite la inmunización que logran cierto tipo de bacterias cuando son eliminadas con una sola clase de biocidas.

4.4 Performance de los Intercambiadores de calor.

4.4.1 **Eficiencia de Transferencia de Calor.-** Durante el período las temperaturas de entrada y salida de los intercambiadores críticos (AE-603-A/B, AE-605-A/B y AE-705) se mantuvieron dentro de sus rango normal de operación, no habiéndose producido ensuciamientos u obstrucciones que hayan atentado contra la operación eficiente de la Planta (paradas y bajadas de carga).

4.4.2 **Inspección de Enfriadores.-** Durante la Inspección de la Planta de Fertilizantes realizada del 6 al 17

de Diciembre de 1,985, se efectuó la Inspección ocular del bulto de tubos de los principales enfriadores encontrándose los siguientes resultados en el Condensador de Amoníaco (AE-705) que es el equipo más importante del sistema :

Bulto de tubos en buen estado. Se efectuó la prueba hidrostática a 430 kg/cm^2 no encontrándose algún tubo roto.

Sobre el bulto de tubos se detectaron tres tipos de capas protectoras (delgadas, sin llegar a ser incrustación) dispuestas de la siguiente manera de la zona exterior a interior :

Capa superior de color gris (Polifosfato de Calcio) en un 70 % de la superficie y en un 30 % se encontró un color rojizo (hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$) que es un producto de corrosión.

- Capa inferior de color negruzco y compacto conformado por el óxido de fierro gamma (Fe_2O_3), que es un gran protector de la superficie ferrosa porque impide el contacto del oxígeno con el metal "blanco".
- Finalmente se encontró al metal "blanco" del acero al carbono de un color gris claro (parecido al aluminio).

Esta situación encontrada nos manifiesta claramente y en forma resumida la cronología de aplicación del tratamiento "N".

En un principio se efectuó limpieza química que removi6 los 6xidos de fierro y llev6 al acero al carbono a metal "blanco". Luego se realiz6 la pasivaci6n con alta dosis de fosfato estabilizado que promovi6 la formaci6n de la pel6cula protectora del fierro gamma, y finalmente el tratamiento continuo que gener6 la pel6cula protectora de polifosfato de calcio e hidr6xido de zinc.

CAPITULO V

EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO

La implantación del nuevo sistema generó nuevos ingresos a la planta contra una inversión relativamente inferior en montos. Seguidamente se describe el cálculo de los indicadores económicos que prueban la factibilidad de este proyecto, el cual en la actualidad continúa con una operación eficiente

5.1 Rentabilidad

Para la determinación de la rentabilidad del proyecto se ha empleado el método del inversionista, mediante el cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR), empleando los siguientes datos como base :

El volumen de agua destilada que el nuevo sistema generó en su reducción de consumo, y luego fue enviado a la Refinería Talara, es igual a 24.885 TM/Hr

- El precio interno del agua destilada en Petroperú-Talara es de 1.5 US\$/TM. Se considera este valor como la utilidad antes de impuestos, debido a que la producción de agua destilada en la Planta de Fertilizantes no recibe cargos del costo de fabricación; porque éstos son asumidos por la producción de úrea.
- En un año operativo el volumen promedio de agua destilada que se envía a la Refinería es de 197,000 TM.
- Utilidad por ventas de agua destilada: 295,633 US\$/Año
- El monto de la inversión para la adquisición de los equipos de bombeo, construcción de pozas de recuperación, montaje e ingeniería; alcanzo la cifra de 80,000 US\$
- La depreciación de la inversión es lineal y en diez años.

-La tasa de impuestos fue de 35%.

En la Tabla # 16 se muestra el cálculo realizado con la ayuda de un microcomputador, y se obtiene un TIR de 243.7%; demostrando que la inversión fue altamente rentable muy por encima del valor mínimo de 15% que fija Petroperú para este tipo de proyectos.

5.2 Tiempo de Recuperación de la Inversión

De acuerdo a los cálculos efectuados y debido a que el valor del TIR resulto elevado, el tiempo de recuperación fue corto llegando a solamente 5 meses (0.4 años)

5.3 Valor Actual Neto

En la misma Tabla # 16 se muestran los valores alcanzados por el proyecto, confirmando su alta rentabilidad.

El Valor Actual Neto para una tasa da actualización del 15%, indica un VAN de 898,000 US\$.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

1. El proyecto para la instalación del "Nuevo Sistema de Agua de Enfriamiento para la Planta de Fertilizantes", resultó altamente rentable para los intereses de la empresa estatal Petróleos del Perú
2. La reducción en el consumo de agua destilada en el sistema de enfriamiento de FRT, entre un 20 al 30% del consumo original, ha permitido continuar enviando a la Refinería Talara un volumen promedio anual de 295,600 TM. El suministro iniciado en el año de 1985, se mantiene hasta la actualidad.
3. El empleo de una agua destilada de alta calidad en la REF-TAL, ha permitido una operación confiable de los calderos que suministran vapor de alta presión a la Unidad da Craqueo Catalítico. Las ventajas económicas de esta mejora no han sido cubiertas por el presente estudio
4. El acondicionamiento químico del agua destilada que ingresa al Nuevo Sistema de Agua de Enfriamiento, que se demuestra en la elevación de su dureza cálcica y el relevo de inhibidores y biocidas que vinieron con el diseño original, comprobó la versatilidad del sistema y que éste puede ser acondicionado de acuerdo al tipo de tratamiento químico que se disponga; descartando la posición inicial cuando el sistema sólo podía recibir un determinado tipo de tratamiento.
5. El conocimiento en detalle del Sistema de Agua de Enfriamiento por parte del personal de la empresa, así como su grado de especialización en los temas de Corrosión, Selección de Tratamientos Químicos y Análisis de Laboratorio; fue la base fundamental del logro alcanzado, desarrollándose por primera vez trabajos técnicos que anteriormente sólo eran

efectuados por las compañías internacionales que cubren el mercado de los productos químicos para tratamientos industriales.

6.2 Recomendaciones

1. Para un futuro proyecto de instalación de una Planta Deslinizadora en la zona industrial de las Operaciones en el Noroeste de Petroperú, se debe tener en cuenta el carácter de interdependencia que existe entre las plantas industriales (Solventes, Negro de Humo, Pariñas, Verdún, Pozo, Fertilizantes, Refinería y Plantas Electricas) a fin de proveerlas, para determinados procesos de cada una de ellas, de un flujo óptimo y constante de agua destilada de calidad superior.

2. En Petroperú o en otras empresas de su misma dimensión, se deben formar especialistas en Tratamiento de Aguas de tal manera que ellos sean los encargados de estudiar, analizar, diseñar y recomendar los tratamientos químicos más adecuados para cada sistema de enfriamiento, así como las modificaciones que podrían efectuarse en los mismos a fin de obtener una mayor eficiencia.

Asímismo, estos especialistas deben mantener reuniones de intercambio de experiencias a fin de que estas puedan ser conocidas en toda su magnitud.

3. Incluir en la formación curricular de los futuros ingenieros químicos, petroquímicos e industriales; la enseñanza de un curso relacionados con los Sistemas de Agua de Enfriamiento en las Plantas Industriales y su Tratamiento Químico.

CAPITULO VII

BIBLIOGRAFIALIBROS

1. "CHLORINE HANDBOOK" Autor : Geo. Clifford White
 Editorial : Van Nostrand-Reinhold
 Edición 1972
2. "THE NALCO WATER HANDBOOK" Autor : Franck Kemmer
 Editorial : Mc Graw Hill
 Edición 1990 (5^{ta})
3. "OPERACION DE PLANTAS INDUSTRIALES"
 Autor : Stephen M. Elonka
 Editorial : Mc Graw Hill
 Edición 1980
- 3.1 ¿Por qué enfrían las Torres de Enfriamiento?
- 3.2 Enfriamiento de agua con aire "gratis".
- 3.3 Diseño de Torres de Enfriamiento.
- 3.4 Mantenimiento de Torres de Enfriamiento.
- 3.5 Operación en invierno de Torres de Enfriamiento.
- 3.6 Seis formas de aumentar la capacidad de las Torres
 de Enfriamiento.
- 3.7 Preguntas y respuestas para el tratamiento del
 agua.
4. "MECHANISM OF SLIME PROBLEM AND EFFECTIVE CONTROL
METHODS". (Text Book for Seminar in the Petrochemical
Complex of CAMACARI Bahía, Brasil; prepared by
 KURITA WATER INDUSTRIES, JAPAN, in 1981).

ARTICULOS

1. "Chromate - free corrosion and scale control program for open recirculating cooling water systems using high-hardness and high-salinity make-up water"; Kurita Water Industries Ltd., Water Treatment Seminar-Lima, Peru September 1983.
2. "Stress corrosion cracking by cooling water of stainless steel shell and tube heat exchangers"; Materials Performance, March 1982.
3. "Inhibition of calcium phosphate scale on heat exchangers. The relation between laboratory test results and test on heat transfer surfaces"; Corrosion - 79, Paper N° 220.
4. "Chromate-free cooling water treatment with the combine application of newly developed dispersants"; Kurita Water Industries Ltd.
5. "Cooling water technology in the 1980's"; Materials Performance, November 1984.
6. "Corrosion control of industrial cooling water systems"; Materials Performance, November 1984.
7. "The on-line removal of iron deposit from cooling water systems"; Materials Performance, November 1984.
8. Separatas de la Hydrocarbon Processing sobre "Cooling Systems", y "Water Treating".

9. "Non-metal program for soft water"; Corrosion-84, published by Nalco Chemical Company.
10. "The influences of dissolved ions, corrosion inhibitors and scale inhibitors on the corrosion rates of mild steel in cooling water"; Kurita Water Industries, presented in the 4th European Symposium on Corrosion Inhibitors.
11. "Do you understand galvanic corrosion?"; Chemical Engineering, June 6, 1977.
12. "Pretreating mild-steel water-cooled heat exchangers"; Chemical Engineering November 16, 1981.
13. "Using wastewater as cooling-system make-up water"; Chemical Engineering August 30, 1976.
14. "Chromate Inhibitor successfully replaced in copper-nickel plant cooling tower"; Materials Performance, June 1983.
15. "Mechanism of slime problem and effective control methods"; Kurita Water Industries, Japan October 1980.
16. "Microbiologically influenced corrosion of industrial alloys"; Materials Performance April 1984.
17. "Corrosion and biofouling control in a cooling tower system"; Materials Performance August 1984.

18. "Advances in the chemistry of alkaline cooling water treatment"; Calgon Corporation USA, presented at The International Corrosion Forum sponsored by NACE, March 1985.
19. "Clean entire cooling water system without shutting down plant"; Chemical Processing, April 1978, Industrial Services Div., Dow Chemical USA.
20. "Influencia de la floculación de la lama causado por la presencia del fierro en el agua de enfriamiento, y la reducción del problema por la inyección del KURIZET T-225"; Kurita do Brasil Ltd. 1982.