

Universidad Nacional de Ingeniería

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA
QUIMICA Y MANUFACTURERA**



TITULACION PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

**“ Mejoras en el Tratamiento de Agua de Río para uso
Industrial en la Refinería de Iquitos ”**

***Trabajo Profesional para optar el Título de:*
INGENIERO QUIMICO**

GREGORIO CONGA RICO
PROMOCION 1974 - I

LIMA • PERU • 1983

MEJORAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA DE RIO
PARA USO INDUSTRIAL EN LA REFINERIA DE

IQUITOS

INDICE

	PAG.
CAPITULO I.- INTRODUCCION	1
CAPITULO II.- ANTECEDENTES.	3
1. La Refinería en Iquitos	3
1.1. Problemas en la Producción de Vapor	5
1.2. Descripción del Tratamiento de Agua para Calderos antes de Mejoras	6
2. Calidad del Agua de Algunas Fuentes Natu rales de la Selva	10
CAPITULO III.- CONCEPTOS GENERALES EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CALDEROS	12
1. Tratamiento Externo	19
2. Tratamiento Interno	28
3. Purgación	31
CAPITULO IV.- CONCLUSIONES	33
CAPITULO V.- MEJORAS EFECTUADAS Y RESULTADOS	37
CAPITULO VI. BIBLIOGRAFIA	46

CAPITULO

INTRODUCCION

El presente es un informe del estudio y mejoras efectuadas en el tratamiento de agua de río para uso en Calderas de la Refinería Iquitos. El trabajo se basa principalmente en las experiencias en el tratamiento de agua del Río Amazonas; para luego extender el estudio a los ríos Nanay y Trompeteros, tres de las fuentes principales de agua para las mayores industrias de la Selva.

En el capítulo segundo se explica como la falta de un buen tratamiento de agua afectó la producción de la Refinería. En el tercero, se exponen algunos conceptos teórico-prácticos, varios de los cuales no fueron aplicados en la operación de la Planta de Agua.

En el capítulo cuarto se relaciona las conclusiones a las que se llegó sobre los moti-

vos que originaron las 6 paralizaciones de las calderas y luego en el siguiente capítulo se indican las mejoras efectuadas en el tratamiento de agua así como los resultados obtenidos.

Cabe anotar que algunas conclusiones del presente trabajo fueron adoptadas por el Seminario Técnico sobre Tratamiento de Aguas Industriales y Efluentes patrocinado por la Empresa Petróleos del Perú en Noviembre de 1979.

CAPITULO II

ANTECEDENTES

1. LA REFINERIA DE IQUITOS

La refinería está ubicada a orillas del Río Amazonas a 15 km de la Ciudad de Iquitos. Está diseñada para refinar los petróleos que se encuentran en la zona de Shiviayacu, Pavayacu, Valencia y Trompeteros.

Tiene una capacidad de refinación de 12000 MB /día y produce gasolina, kerosene, turbo A-1, Petróleo Diesel N° 2 y Petróleo Industrial N° 6 (Residual) para Abastecer la Zona de Iquitos y Yurimaguas.

Su producción de residual excede la demanda. Como consecuencia, en los primeros años se almacenó el residual excedente en unas pozas que se encuentran expuestas a las lluvias y a la

contaminación con hojarasca proveniente de la vegetación alrededor de las pozas. El volumen del producto almacenado llegó hasta 250 mil barriles.

En el año de 1976 como consecuencia del incremento del valor del petróleo, se dejó de enviar el residual excedente a las pozas y por el contrario se empezó la recuperación.

Como consecuencia, la demanda de vapor se incrementó en un 120%, por las siguientes necesidades, adicionales a las requeridas para la refinación del crudo.

- A. Calentamiento del Residual de las Pozas para ser bombeado a tanques por tener una calidad desfavorable: Viscosidad SSF A 122°F, 150-1200" , API: 12-15, Punto de escurrimiento 85-95°F; BSW: 20-60.
- B. Calentamiento de las líneas de Transferencia del Residual.
- C. Calentamiento de los tanques de almacena-

miento: Tres tanques de 45, 18, 15 MB de capacidad.

D. Calentamiento del residual para tratamiento con el fin de romper la emulsión del producto con agua.

1.1. Problemas en la Producción de Vapor

El incremento de la demanda de vapor en el año 1976, obligó a la operación continua de los calderos automáticos (Erie y Metal Empresa) con que contaba la Refinería y con ello las continuas paradas para limpieza de los calderos y reparaciones: en Octubre del año 1977, se reemplazaron 46 tubos (27%) del caldero "Metal Empresa" y en diciembre del mismo año se sacó de servicio nuevamente para reemplazo de 5 tubos y cambio de extremos de 48 tubos.

Durante los años 1978 y 1979 se sucedieron problemas similares en ambos calderos: fugas de agua por el lado del espejo, perforación de los tubos y la deposición de sólidos

en forma de incrustaciones densas y duras de 5 mm de espesor en la superficie de los tubos (lado del agua).

Las paralizaciones en la producción de vapor afectaron sensiblemente la recuperación de residual de las pozas, operación muy rentable a la Empresa por valorizarse el residual como petróleo crudo al incorporarse en Saramuro a la producción de los campos petroleros de operaciones selva.

1.2. Descripción del Tratamiento del Agua para Calderos antes de Mejoras

CAPTACION.- El agua se toma del Río Amazonas a un régimen de 56 m³/hr.

ADICION DE PRODUCTOS QUIMICOS.-

Se usa cal y sulfato de aluminio como coagulantes. Estos se miden en estado seco.

Se preparan soluciones en sus respectivos tanques. La proporción se regula manualmente en base a la experiencia de los operadores, por observación de la formación de flóculos. Los puntos de adición se indican en la figura N° 1.

MEZCLA.- Se efectúa en una cámara de mezclado consistente en deflectores que obligan al agua por tratar, a cambios bruscos de dirección para dispersar los productos químicos.

FLOCULACION.- Se realiza en un tanque rectangular donde el agua pasa con un tiempo de retención que depende de la demanda de agua tratada.

SEDIMENTACION.- Se efectúa en un sedimentador de concreto tipo caja

DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO ANTES DE MEJORAS

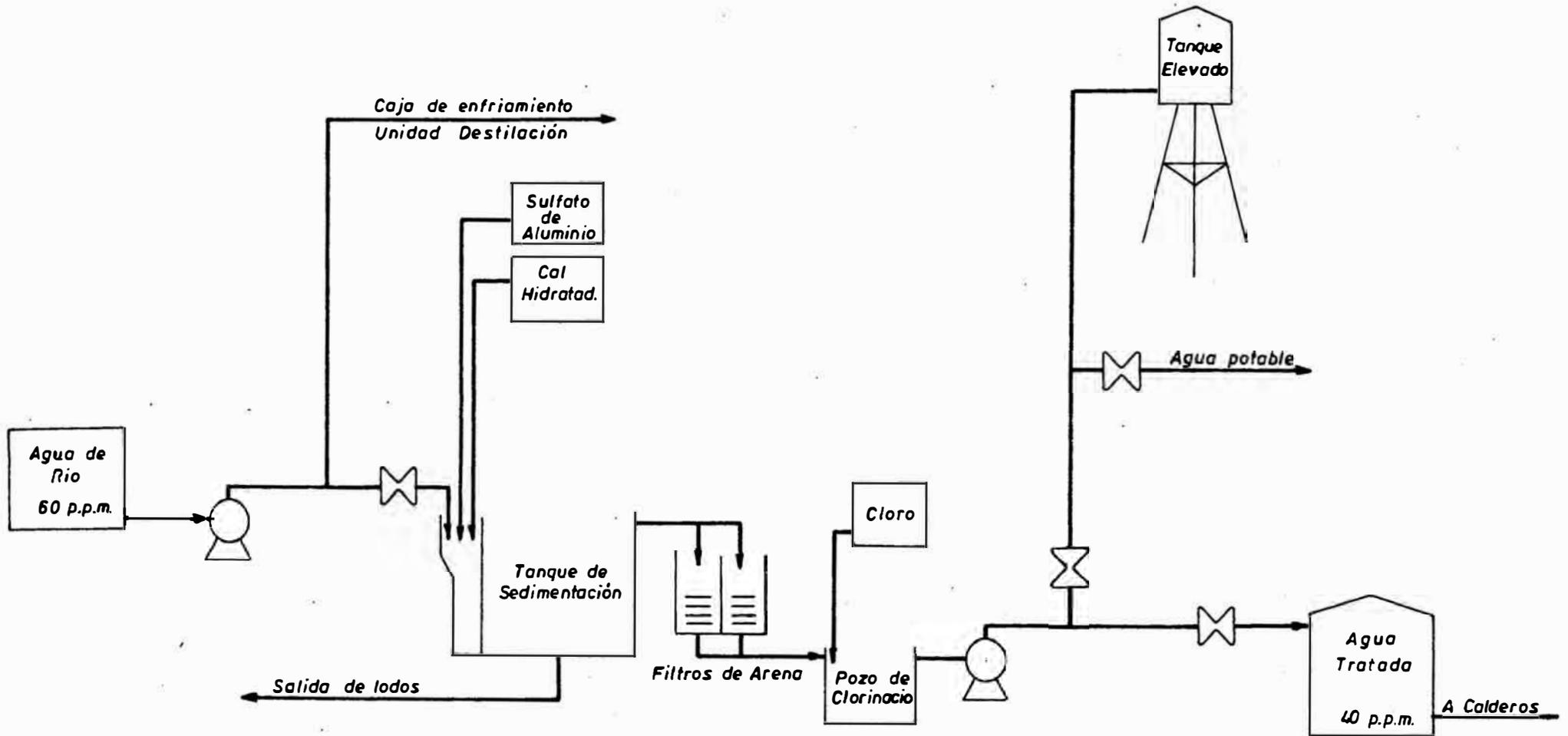


FIG. N° 1

de 360m³ de capacidad.

Los lodos asentados son removidos en forma periódica no programada.

FILTRACION.- Se realiza a través de dos filtros de concreto, tipo caja donde el agua se infiltra a través de unas capas de arena produciéndose la retención de la materia floculada.

TABLA N° 1

ANALISIS DEL AGUA DE ALIMENTACION DE
CALDEROS ANTES DE MEJORAS

Laboratorios: Refinería Iquitos

Fecha: 24-07-79

CALCIO como Ca^{++}	2.0
MAGNESIO como Mg^{++}	Trazas
FIERRO y ALUMINIO como Fe_2O_3 y Al_2O_3	3.0
Bicarbonatos como HCO_3	9.0
SULFATOS como SO_4^-	5.0
CLORUROS como Cl	0.5
ALCALINIDAD TOTAL como CaCO_3	9.0
DUREZA TOTAL como CaCO_3	40.0
SILICATOS como SiO_2	3.0
MATERIA ORGANICA como O_2	6.0
SOLIDOS DISUELTOS	7.0
SOLIDOS EN SUSPENSION	3.0
SOLIDOS TOTALES	10.0
TURBIDEZ (Escala Sílice)	15.0
pH	7.5

2. CALIDAD DEL AGUA DE ALGUNAS FUENTES NATURALES DE LA SELVA

De acuerdo a los análisis efectuados a tres muestras de aguas de ríos de la Selva, Tabla N° 2, se observa que tienen relativamente bajo contenido de compuestos incrustantes.

La composición de las sustancias disueltas varían en un amplio rango dependiendo del caudal muy especialmente como el caso del Río Amazonas que presenta una variación de 190 a 510ppm en sólidos totales disueltos y alto contenido de sílice (150 ppm). Por esto, es necesario clarificarla por un pretratamiento antes de ablandarla ó desmineralizarla cuando se trate del uso para calderos.

Por el contrario el Río Nanay presenta bajo nivel de sólidos disueltos (10 ppm) con la desventaja de su acidez (5.6).

TABLA N° 2

ANALISIS DE AGUA DE TRES DE LOS RIOS QUE ABASTECEN A LAS PRINCIPALES
INDUSTRIAS DE LA SELVA

	ppm			
	RIO AMAZONAS MINIMO	RIO AMAZONAS MAXIMO	RIO NANAY	RIO TROMPETEROS (BATERIAS 1-X)
CALCIO como Ca ⁺⁺	15.0	35.0	0.8	5.0
MAGNESIO como Mg ⁺⁺	Trazas	6.11	0.5	2.6
FIERRO Y ALUMINIO como Fe ₂ O ₃ y Al ₂ O ₃	15.0	40.0	3.0	12.0
BICARBONATOS como HCO ₃ ⁻	30.0	87.0	2.0	7.0
SULFATOS como SO ₄ ⁼	5.0	13.0	7.0	11.5
CLORUROS como Cl ⁻	3.0	6.9	2.0	23.0
ALCALINIDAD TOTAL como CaCO ₃	32.0	72.0	2.0	7.0
DUREZA TOTAL como CaCO ₃	40.0	60.0	18.0	14.0
SILICATOS como SiO ₂	60.0	150.0	8.0	2.0
MATERIA ORGANICA como O ₂	12.0	40.0	12.0	5.0
SOLIDOS DISUELTOS	120.0	210.0		475.0
SOLIDOS EN SUSPENSION	70.0	300.0	10.0	35.0
SOLIDOS TOTALES	190.0	510.0		510.0
TURBIDEZ(Escala Sílice)	100.0	450.0	15.2	70.0
SEDIMENTOS POR FILTRACION(% peso)	0.15	0.30	Trazas	0.02
pH	7.0	7.5	5.6	6.5

CAPITULO III

CONCEPTOS GENERALES EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CALDEROS

El tratamiento de agua para la generación de vapor es una de las más sofisticadas ramas de la química del agua. Un entendimiento de los fundamentos de la química del agua para calderos es esencial al Ingeniero que continuamente se esfuerza por incrementar la eficiencia de los calderos y el uso de vapor en su planta.

La presión y diseño de un caldero determina la calidad de agua que se requiere para la generación de vapor. El agua municipal ó Planta de buena calidad para uso doméstico es rara vez suficientemente buena para alimentar a calderos. Estas fuentes naturales casi siempre son tratadas para la reducción de contaminantes a niveles aceptables; en adición, se inyectan químicos correctivos al agua tratada para contrarrestar efectos ad

versos de las trazas remanentes. La secuencia de tratamiento depende del tipo y la concentración de contaminantes en el agua de abastecimiento y la calidad del agua terminada para evitar los tres mayores problemas de un sistema de calderos: depósitos, corrosión y arrastre.

Los Depósitos, principalmente incrustaciones se pueden formar sobre la superficie de cualquier equipo en contacto con agua a medida que las condiciones de equilibrio en el agua en contacto con estas superficies son trastornadas por una fuerza externa tal como el calor. Cada contaminante tiene una solubilidad definida en el agua, y precipitará cuando ésta ha sido excedida. Si el agua está en contacto con una superficie caliente y la solubilidad del contaminante es menor a temperaturas mayores, el precipitado se formará causando incrustamiento.

Los depósitos en forma de inscrustaciones son sumamente perjudiciales ya que son malos conductores del calor, causan reducción de eficien-

El mecanismo de la formación de incrustaciones es complejo y durante muchos años ha estado sujeta a discusión y controversias.

Como regla, las incrustaciones densas adherentes resultan del uso del agua para alimentación no tratado (ó de tratamiento inadecuado) conteniendo Sulfato de Calcio, ciertos tipos de silicatos y carbonatos.

Según los estudios de R.E. Hall, como la porción más caliente del cuerpo de agua está cercana a la superficie del tubo, el sulfato de calcio tiene ahí su mínima solubilidad y que la precipitación de ésta sal ocurre primero allí.

Los compuestos más comunes de los depósitos en calderos son fosfato de calcio, carbonato de calcio (en calderos de baja presión) hidróxido de magnesio, silicato de magnesio, varias formas de óxido de hierro, sílice absorbido sobre los precipitados previamente mencionados, y alúmina. Si son usadas sales de fosfato para tratar agua de calderos, el calcio precipitará preferentemen-

te como fosfato antes de su precipitación como Carbonato, y el fosfato de calcio llega a ser el aspecto más prominente del depósito.

A las altas temperaturas encontradas en un caldero, los depósitos son un serio problema, causando una pobre transferencia de calor y una falla potencial de los tubos del caldero. En calderos de baja presión con regímenes de baja transferencia de calor, los depósitos pueden acumularse en un punto donde obstruirán completamente al tubo. A mayor transferencia de calor, y a presiones de caldero más altas, el problema es más severo: a temperaturas entre 900 - 1350°F (482-732°C), el acero al carbono empieza a deteriorarse. Sobre los 800°F (427°C) se inician sucesivos cambios en la estructura del acero al carbono que rebajan al metal. Las temperaturas en el hogar de los calderos están considerablemente por encima de este rango crítico de temperatura. El agua circulante a través de los tubos normalmente conducen calor hacia fuera del metal, previniendo que el tubo llegue a este rango. Los depósitos aíslan el tubo, reduciendo el regimen al cual este calor puede ser retirado;

esto conduce a sobrecalentamiento y una eventual falla del tubo.

Si el depósito es suficientemente delgado para no causar tal falla, puede causar una sustancial pérdida en eficiencia y la sobrecarga de transferencia de calor en otras secciones del caldero. Los depósitos pueden ser incrustaciones, precipitados localizados sobre una superficie caliente, ó químicos previamente precipitados, a menudo en la forma de barro. Estos "gotean" del agua en áreas de baja velocidad, compactándose para formar un aglomerado denso similar a una incrustación pero reteniendo los aspectos de los precipitados originales. En la operación de la mayoría de los calderos industriales, es raramente posible evitar la formación de algún tipo de precipitado. Siempre existen algunas partículas en el agua circulante de los calderos, los cuales pueden depositarse en las secciones de baja velocidad.

El segundo en importancia relacionado al agua para calderos es la corrosión, el ejemplo más común es el ataque de acero por oxígeno, ésto ocu

rre en los sistemas de agua de alimentación, sistemas de precalentamiento, calderos líneas de retorno de condensados, y virtualmente en cualquier porción del sistema donde exista oxígeno. El ataque de oxígeno es acelerado por la alta temperatura y por bajo pH. Un menor tipo de corrosión es el ataque alcali, el cual puede ocurrir en calderos de alta presión donde el caústico puede concentrarse en el área de formación de una burbuja de vapor debido a la presencia de depósitos porosos.

Algunos reactivos para tratamiento del agua de alimentación, tales como quelatos, si no es aplicado apropiadamente, puede corroer la tubería de alimentación válvulas de control, y aún en el interior del caldero.

La eliminación de oxígeno del agua de alimentación al caldero es el principal paso en el control de la corrosión del caldero, logrado ésto la corrosión aún puede ocurrir. Un ejemplo es el ataque directo por vapor de la superficie de acero a temperaturas elevadas de acuerdo a la siguiente reacción:



Este ataque puede ocurrir en la superficie con depósitos de sedimentos donde el flujo restringido del agua de calderos causa sobrecalentamiento. Ello también puede ocurrir en tubos supercalentados sujetos a sobrecalentamiento. Puesto que esta reacción de corrosión produce hidrógeno, un dispositivo para análisis de hidrógeno en el vapor, es útil como un probador de corrosión.

El tercero de los problemas principales relacionado a la operación de calderos es el arrastre del caldero al sistema de vapor. Esto puede ser un efecto mecánico, tal como el rociadero de agua a través de un deflector roto. Ello puede deberse a la volatilidad de ciertas sales del agua de calderos, tales como compuestos de sílice y sodio o puede ser causado por espumamiento.

Hay tres medios básicos para mantener estos principales problemas bajo control:

1. Tratamiento Externo del Agua

Reemplazo, condensado ó ambos.- Reducción de los químicos (tales como dureza ó sílice), gases ó sólidos antes de que ingrese a los calderos.

2. Tratamiento Interno del Agua de alimentación a calderos, agua del caldero , vapor ó condensado con reactivos químicos.

3. Purgación

Control de la concentración de químicos en el agua del caldero purgando una porción del agua del caldero.

1. TRATAMIENTO EXTERNO

La mayoría de las operaciones de tratamiento, pueden ser usados sólo ó en combinación con otros para adaptarse a cualquier tipo de agua disponible ó cualquier tipo de agua disponible ó cualquier sistema

de calderos. La utilidad del proceso disponible se juzga por sus resultados y el costo involucrado.

El programa de tratamiento de calderos ayuda al control de siete tipos de impurezas:

- * Sólidos
- * Dureza
- * Alcalinidad
- * Sílice
- * Sólidos totales disueltos
- * Materia Orgánica
- * Gases

1.1. Sólidos Suspendidos

La remoción de sólidos suspendidos se realiza por coagulación/floculación, filtración, ó precipitación. Otros procesos Unitarios, excepto la reacción directa, requieren primero la remoción de sólidos. Por ejemplo, el agua para ser procesada por in -

tercambio iónico debe contener menos de 10 mg/lit de sólidos suspendidos para evitar el ensuciamiento del intercambiador y problemas de operación.

COAGULACION

Las condiciones óptimas para la formación del flóculo existen en una estrecha zona correspondiente a un pH de 5.5 para soluciones diluídas. Mientras más diluída el sea el agua respecto al contenido de sales y menos sea la cantidad de alumbre agregada, más estrecha se vuelve la zona de pH en la que se hallan las condiciones óptimas para formación de flóculo.

A) Coagulantes

Los más comunmente usados son: Sulfatos de Aluminio, Sulfato ferroso, Alumbre de potasio ó amonio, aluminato de sodio.

B) Ayudas para la floculación

Además de las arcillas, sílice activada cabe mencionar a los polielectrolitos de origen natural ó sintético. Los floculantes sintéticos son más activos que los productos naturales para la formación de partículas mayores (1-10m m). El Polielectrolito crea un puente entre las partículas permitiendo la formación de flóculos agregados más rápidamente y una eficiente separación sólido-líquido.

El uso de los floculantes polielectrolíticos ha reducido o ha eliminado el uso de grandes cantidades de reactivos inorgánicos tales como Fierro, Calcio y Sales de Aluminio en el tratamiento del agua.

Se aplica en el tratamiento de agua cruda, remoción de compuestos fosforosos solubles, efluentes, etc. Estas sustancias cuando no son certificadas

no deberán por ningún motivo, usarse en aguas que pueden posteriormente ser empleadas para beber, sino solamente en aguas de desecho ó industriales.

Para la floculación en agua cruda se recomienda la aplicación de 0.2-1.0mg /lt.

C) Prueba de Jarras

Los procesos de floculación y sedimentación usualmente son evaluados por un criterio visual subjetivo de Laboratorio a un número de sistemas de prueba conducidos en paralelo.

Volúmenes medidos de una muestra cuya suspensión va a ser evaluada, son colocados en recipientes de vidrio ("Jarras") equipados con agitadores de paleta.

Los coagulantes y floculantes son añadidos en secuencia y en cantidades medidas a tiempos y condiciones de agitación prescritos. Las eficiencias de coagulación, floculación ó sedimentación se evalúan entonces como una función de la concentración de coagulante ó floculante sobre una escala logarítmica. El tiempo entre la adición de floculante y coagulante es la tercera variable.

El criterio visual consiste en la observación de (a) el regimen de floculación (b) el tamaño del flóculo formado (c) el regimen de sedimentación; y (d) la claridad del agua tratada (luego de la adición química, mezcla y sedimentación).

1.2. Dureza

A continuación se presenta un cuadro comparativo de algunas operaciones unitarias en la remoción de Calcio.

Proceso	Dureza	Alcali nidad	Sílice	Sólidos To tales Disueltos
Agua Original	160	135	10	275
Intercambio Sódico	Cero	135	10	290
Intercambio Sódico y Acido	Cero	20	10	290
Cal Parcial (frío)	75	50	9	190
Cal en caliente-Zeolita	Cero	30	1	155

1.3. Alcalinidad

Es deseable tener algunas alcalinidades en el agua de calderos para proveer un pH óptimo al agua de alimentación para prevenir corrosión de la tubería y el equipo. Por otro lado es desea -

ble la reducción de alcalinidad para minimizar la formación de CO_2 y reducir los costos de tratamiento.

El grado de reducción de alcalinidad es dictado por los límites deseados en el agua de calderos y los objetivos en la calidad del vapor.

1.4. Sílice

Las concentraciones permisibles de Sílice en el agua de calderos a varias presiones de operación se dan en la siguiente tabla:

Presión en el Recipiente psia	Concentración de Sílice, ppm	
	*	**
0 - 300	150	150
301 - 450	90	90
451 - 600	40	55
601 - 750	30	35
751 - 900	20	20
901 - 1000	8	15

* Límites Recomendados

** Concentración produciendo 0.02 ppm de SiO_2 en vapor saturado en el límite de presión más alto.

La reducción de sílice no es siempre necesario, especialmente en la ausencia de una turbina de condensación. Bajas concentraciones de sílice pueden algunas veces producir deposiciones viscosas en calderos de baja presión tratados con fosfatos.

El tratamiento a seleccionarse debe reducir el contenido de sílice requerido por el sistema de vapor.

1.5. Materia Orgánica

La materia orgánica como una clasificación general es solamente en término cualitativo. Ello incluye una amplia variedad de compuestos que son solamente analizados como materiales específicos.

1.6. Gases Disueltos

Los desgasificadores son usados para extraer el gas mecánicamente más que químicamente. Se usan sopladores, desgasificadores al vacío, depuradores a vapor ó calentadores deareadores,

2. TRATAMIENTO INTERNO

La formación de incrustación dentro de un caldero es controlado por uno de cuatro programas químicos: coagulación (carbonato), fosfato residual, quelación ó fosfato coordinado.

2.1. Programa de coagulación

En este proceso el carbonato de sodio y/ó hidróxido de sodio se agregan al agua del caldero para suplementar la alcalinidad del agua de alimentación que no ha sido ablandada. El carbonato causa

la deliberada deposición de carbonato de calcio bajo favorables condiciones controlados previniendo una subsecuente deposición en algún punto como incrustación.

Este método se usa solamente en calderos con alta dureza en el agua de alimentación y con presión de operación debajo de 250 psi.

2.2. Programa de Fosfato

La corrosión de un caldero de acero es también una función del pH y el rango ideal de pH debería estar entre 9 a 11.

Cuando la presión del caldero está sobre 250 psi, las altas concentraciones de barras son indeseables. En estos calderos la dureza del agua de alimentación sería limitado a 60 ppm y se prefería programas de fosfato.

2.3. Programa de Quelación

Un quelato es una molécula similar a un ión intercambiador; tiene bajo peso molecular y es soluble en agua. Los agentes más comunmente usados son el EDTA (Ethylene diamine tetraacetic Acid) y NTA (Nitroloacetic acid). Estos quelatos forman complejos solubles. El alto costo comparado a los fosfatos limita el uso de quelatos para aguas de alimentación con baja dureza. Se recomienda este programa para uso en calderos a una presión de operación menor a 1500 psi.

2.4. Programa de Fosfato Coordinado

En presiones altas, en calderos con alto regimen de transferencia de calor, el programa de tratamiento interno debe contribuir con poco ó nada de sólidos. El potencial para el ataque caústico del metal de los calderos se incrementa con el aumen

to de la presión de tal manera que la alcalinidad caústica libre debe ser minimizada. El programa de fosfato coordinado se escoge para estas condiciones. Esto difiere del Programa standard en que el fosfato se adiciona para conseguir un rango controlado de pH en el agua del caldero a medida que reacciona con el calcio si la dureza ingresaría al caldero. El fosfato trisódico se hidroliza para producir iones hidróxido.

3. PURGACION

Cuando se genera vapor en los calderos, esencialmente se descarga vapor de agua pura del caldero, dejando los sólidos que ingresaron al caldero. El resultado de la adición continua de impurezas y agua pura retirándose es el incremento constante del nivel de sólidos en el agua del caldero. Hay un límite para la concentración de cada componente en el agua del caldero. Para prevenir un exceso de estas concentraciones límites, parte

del agua del caldero es retirado como purga y descargado al desagüe. Es necesario un balance en el caldero de tal manera que el régimen de purga debe ajustarse a fin de que los sólidos retirados sea igual a los que ingresan y así la concentración se mantiene a límites predeterminados.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

4.1. Las fallas en la producción de vapor en los calderos de la Refinería Iquitos fue ocasionada por la formación de incrustaciones que actuó como aislante y produjo el recalentamiento de los tubos, principalmente en los extremos, originando fugas por el lado de las tapas. Así tenemos que un flujo de $20,000 \text{ BTU/Hrxft}^2$ y una incrustación de 2.5 mm. de espesor, de conductividad térmica $0.75 \text{ BTU/Hrxftx}^\circ\text{F}$, originaría un aumento de temperatura de 220°F en la pared del tubo. El cual afectó la resistencia mecánica del mismo.

Las sustancias que formaron las incrustaciones son principalmente sulfato de calcio, sílice y sulfato de magnesio.

La formación de la incrustación fue debido a:

- A) La presencia de sulfato de aluminio y cal en el agua de alimentación a calderos (Tabla N° 1). El sulfato de calcio por su baja solubilidad a las temperaturas prevalecientes en los calderos, no se puede tolerar ninguna cantidad de sulfato de calcio en agua destinada a calderos. Los análisis de las incrustaciones (Tabla N°3) confirman esta conclusión.
- B) Operación del caldero a un pH bajo (menor de 8)
- C) La presencia de Síllice en el agua a calderos, como se observa en la Tabla N° 3, participó en un 10.8% peso en la formación de la incrustación.
- D) La falta de un programa de purgación que asegure el retiro de los sólidos que ingresan al caldero.

E) La falta de un control rutinario de la composición química del agua a los calderos.

4.2. El contenido de hierro en el agua de alimentación a las calderas (3.0 ppm) Tabla N° 1, es perjudicial (excede al recomendado: 0.1 ppm), porque origina la formación de bacterias.

4.3. Deficiente tratamiento externo del agua para calderos debido a:

La adición excesiva de Sulfato de Aluminio y cal originada por una regulación manual de los mismos, no siendo el apropiado cuando se trata de ríos similares al Amazonas, por la variación constante en la composición de sus impurezas.

- 4.4. La floculación se efectuaba a condiciones de pH mayores a lo recomendado (pH = 5.5) para la formación de flóculo.
- 4.5. La corrosión en los tubos fue debido a la presencia de cloruros provenientes del tratamiento de agua potable.
- 4.6. Mejorándose el tratamiento externo del agua no es necesario un tratamiento interno en los calderos.
- 4.7. El agua del río Nanay no precisa de tratamiento para remoción de sólidos. Se puede alimentar a los calderos luego de regularse su acidéz y un programa de fosfato para tratamiento interno.

CAPITULO V

MEJORAS EFECTUADAS Y RESULTADOS

A fín de solucionar los problemas de la Refinería expuestos en el Capítulo II, Sección 1.1. en la producción de vapor, se efectuaron los análisis de la calidad de agua en la fases del tratamiento externo, así como de las incrustaciones. Estos se resumen en las tablas N° 1, 2, 3 y 4.

Luego, se interpretaron los resultados de laboratorio para llegar a las conclusiones enumeradas en el capítulo anterior y se tomaron las siguientes acciones correctivos ó mejoras:

1. 0. MEJORAS EN EL TRATAMIENTO EXTERNO

1.1. Adición de Productos Químicos

Antes Regulación de la dosifica -

ción de coagulantes en base a la experiencia de los operadores, por observación visual de la formación de floculos.

Después: Adquisición de un equipo de laboratorio, para dosificación de coagulantes por el "método de Jarras" de acuerdo a la variación de la composición de impurezas del agua de río.

1.2. Coagulación

Antes La floculación se efectuaba a un pH de 7 a 8.

Después: Como se indica en la figura N° 2, se cambió el punto de adición de cal, consiguiéndose las condiciones óptimas

para la formación de flóculo; pH de 5.5. Esta mejora se implementó luego de pruebas de laboratorio que confirmaron lo innecesario de la adición de cal para conseguir una buena sedimentación de los sólidos disueltos del agua cruda.

1.3. Filtración

Antes Baja eficiencia de los filtros, por falta de limpieza periódica y el disturbio de los lechos de grava.

Después :Mejora en la eficiencia por reemplazo de la grava y la implementación de una limpieza regular: Dos veces por mes.

1.4. Ablandamiento

Antes No se hacía.

Después: Se instaló un ablandador de agua de intercambio catiónico ciclo sódico para eliminación de la dureza del agua.

1.5. Eliminación de Contaminación con Cloro

Antes Contaminación del Agua de Alimentación a calderos con agua clorada para propósitos de uso humano originando erosión en los tubos del caldero.

Después: Se detectó el punto de contaminación y aisló de la tubería de alimentación del agua para calderos.

2.0. MEJORAS EN EL TRATAMIENTO INTERNO

Antes Aguas de alimentación a los calderos con un pH de 7.0.

Después: Se adicionó solución de hidróxido de sodio al agua de alimentación a los calderos para mantener un pH de 9-11 que evite la corrosión del metal

3.0. PURGACION

Antes Se efectuaba de acuerdo al criterio de los operadores.

Después: Se determinó un régimen de purga intermitente que aseguró la remoción de las sales de sodio (Sulfato y cloruros).

Cabe anotar que aún queda por mejorar la dosificación de productos químicos y el estudio de la conveniencia de usar floculantes polielectrolíticos. El sistema actual de dosificación de sulfato de Aluminio es a criterio de los operadores. Este método por costo y por ser un control inadecuado debe ser reemplazado como en la práctica moderna por dosificadores mecánicos.

Asimismo se debe estudiar el uso de floculantes polielectrolíticos que pueden reducir/eliminar el uso de sulfato de aluminio a fin de evitar la acción desactivante del aluminio trivalente sobre las resinas de intercambio catiónico.

4.0. RESULTADOS

El promedio de tubos del caldero reemplazados por causa de las incrustaciones y corrosión, disminuyó desde 51 a 5 tubos/año (promedio) durante 1982, con el consiguien-

te efecto favorable en la extracción del residual de pozas y refinación de petróleo por la continuidad en la producción de vapor.

El menor número de tubos intervenidos fue debido al mejor tratamiento del agua tal como se muestra en la Tabla N°4 donde se observa la disminución en sulfato magnesio, calcio y sílice, principales causantes en la formación de incrustaciones.

TABLA N° 3

ANALISIS DE LA COMPOSICION DE LAS INCRUSTACIONES

Fecha: 11-07-79

Muestra: Incrustación en el Caldero Metal Empresa

		Julio 11/79	Agosto 2/82
Sulfato como SO_4	% Peso	34.5	62.0
Oxido de Calcio como CaO	"	33.5	21.0
Sílice como SiO_2	"	10.8	5.1
Oxido de Aluminio como Al_2O_3	"	6.6	0.6
Materia Orgánica	"	3.8	
Oxido de Magnesio como MgO	"	4.3	3.8
Oxido de Fierro como Fe_2O_3	"	2.4	0.5
Cloruros como ClNa	"	0.5	7.0
Húmedad	"	2.9	
No determinados	"	0.7	

DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DESPUES DE MEJORAS

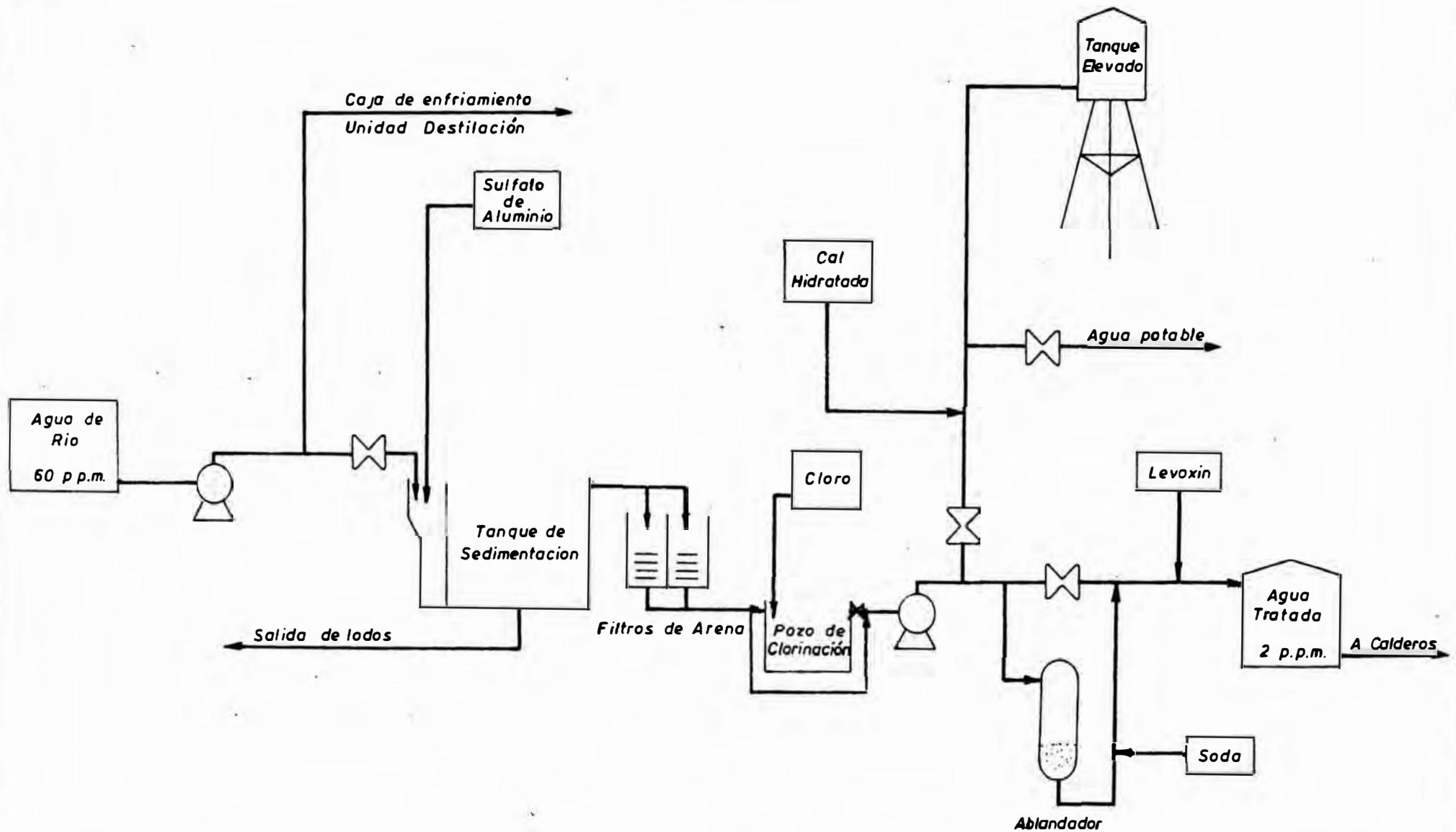


FIG. N° 2

TABLA N° 4

ANALISIS DEL AGUA DE ALIMENTACION A CALDEROS
ANTES Y DESPUES DE MEJORAS

	Antes	Después
Calcio como Ca^{++}	2.0	0
Magnesio como Mg^{++}	3.0	Trazas
Fierro y Aluminio como Fe_2O_3 y Al_2O_3	3.0	0
Bicarbonatos como HCO_3	9.0	3.0
Sulfatos como SO_4	5.0	1.0
Cloruros como Cl	2.0	0.5
Alcalinidad Total como C_2CO_3	9.0	3.0
Dureza total como CaCO_3	40.0	2.0
Silicatos como SiO_2	3.0	1.0
Materia Orgánica como O_2	6.0	2.0
Sólidos disueltos	7.0	2.0
Sólidos en suspensión	3.0	3.0
Sólidos totales	10.0	5.0
Turbidez (Escala Sílice)	15.0	
pH	7.5	9.5

BIBLIOGRAFIA

1. Hal, R.E., y otros: "A PHYSICO CHEMICAL STUDY OF SCALE FORMATION AND BOILER WATER CONDITIONING", Bull 24 Carnegie Institute of Technology Pittsburgh, Pa, 1927.
2. Nordell, E: "TRATAMIENTO DE AGUA PARA LA INDUSTRIA Y OTROS USOS", Reinhold Publishing Corporation, Nueva York 1961.
3. Nalco : "THE NALCO WATER HANDBOOK", McGraw Hill Book Company, New York 1979
4. Sheppard/T. Powell: "ACONDICIONAMIENTO DE AGUAS PARA LA INDUSTRIA", México 1966.
5. Applebaum, S.B.: "DEMINERALIZATION BY ION EXCHANGE", Academic Pres., New York 1968.