

# XXI CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA QUIMICA LIMA – PERU

## “ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS PROGRAMAS DE TRATAMIENTO INTERNO DEL AGUA PARA CALDEROS A BASE DE FOSFATO TRISODICO Y POLIMEROS EN REFINERIA TALARA DE PETROPERU”

Gustavo Herrera Arrieta  
Petróleos del Perú PETROPERU S.A.  
Av. Paseo de la Republica 3361  
gherrera@cope.petroperu.com

### TRATAMIENTO TODO POLIMEROS

#### INTRODUCCIÓN

El programa a base de fosfato trisódico, es el que tradicionalmente se ha usado en Refinería Talara, para el control de las incrustaciones en los calderos de generación de vapor.

Sin embargo, desde que se inició la operación del complejo de craqueo catalítico en el año 1975, la alta frecuencia de fallas que se presentaba en los calderos, por roturas de tubos, causados por los problemas de incrustaciones en los mismos, así como continuos problemas en la Unidad de Recuperación de Gases, por deposición de sílice en los álabes de las turbinas del compresor de gases G-C2 y soplador de aire F-C1; era uno de los problemas más serios de Refinería Talara.

Entre las fallas más comunes, se pueden mencionar las siguientes:

- Rotura de tubos de los calderos, especialmente en los calderos APIN y CO.
- Deposición de sílice en los álabes de las turbinas del compresor de gases G-C2 y soplador de aire F-C1, de la Unidad de Recuperación de Gases.
- Corrosión en los eyectores de vapor V-J1/2/3 de la unidad de vacío (UDV)
- Corrosión en los deareadores del agua de alimentación a los calderos

- Corrosión generalizada de los sistemas de recuperación de condensado.
- Alta frecuencia de limpiezas químicas requerida en los calderos.
- Alta tasa de purgas ó desfuegos de los calderos.

Como consecuencia de tales fallas, se tenía frecuentes interrupciones en la producción de la unidad de FCC, por la falta de vapor, especialmente de 600 psig de presión; de la Unidad de Recuperación de Gases, por la limpieza y realineamiento de los álabes de las turbinas del compresor de gases G-C2 y soplador de aire F-C1; de la Unidad de Vacío, por reparación de los eyectores de vacío; entre otros.

Posteriormente y con la finalidad de superar los problemas antes mencionados, se efectuó el cambio del programa de tratamiento interno y se empezó a usar un antincrustante e inhibidor de corrosión a base de POLIMEROS.

Adicionalmente, se reemplazó la hidracina por el sulfito de sodio catalizado como secuestrante de oxígeno y una amina neutralizante, en reemplazo del amoníaco como neutralizante del vapor.

#### METODOLOGIA

##### 1. OBJETIVO

El objetivo del presente estudio es efectuar, mediante una evaluación técnica-económica, una comparación entre los programas de tratamiento interno del agua para calderos, a base de Polímeros y a base de Fosfato Trisódico.

##### 2. FUNDAMENTO TEORICO DEL TRATAMIENTO INTERNO DEL AGUA PARA LAS CALDERAS DE VAPOR

Cualquiera que sea el propósito del vapor generado en un caldero, los principales objetivos del Tratamiento del agua para éstos, son:

- Prevenir la formación de incrustaciones y depósitos en general.

- Prevenir la corrosión por gases o ataque químico en calderos y sistemas de condensado.
- Prevenir el arrastre de sólidos en el vapor para asegurar un vapor de buena calidad.

Las incrustaciones y depósitos actúan como aislantes y retardan la transferencia de calor. El efecto aislante de los depósitos origina un aumento en la temperatura del metal, lo cual puede conducir a una falla por sobrecalentamiento.

Entre las principales y más comunes formas para prevenir la formación de incrustaciones en los calderos, tenemos:

- Tratamiento externo del agua de alimentación, llamado también Pre-tratamiento, va desde procesos de Suavización, hasta Desmineralización completa.
- Tratamiento interno del agua del caldero, se efectúa mediante la adición de productos químicos y tiene como objetivo terminar de eliminar por precipitación o solubilización, los iones acusantes de las incrustaciones tales como el Calcio, Magnesio y Sílice.
- Control de sólidos-purgas, como su nombre lo indica, en esta etapa del control de incrustaciones, la concentración de sólidos formadores de incrustaciones o lodos se mantiene por debajo de ciertos límites, mediante la purga continua y/o de fondos.
- Limpiezas periódicas, que se efectúa para remover depósitos antes que éstos se vuelvan duros y aislantes.

### 3. PROGRAMA DE TRATAMIENTO INTERNO CON FOSFATOS

#### CARACTERÍSTICAS

Es el programa más antiguo y más común para controlar las incrustaciones en los calderos. Es aplicable en calderos que operan hasta 1200 psig. Los Fosfatos más comúnmente empleados son el Monosódico, Disódico y Trisódico.

#### FUNDAMENTO

En este tipo de control, el agua del caldero se trata con un Fosfato soluble para precipitar el Calcio como Fosfato-Tricálcico, el cual por ser muy poco soluble, evita que se formen incrustaciones de Sulfatos, Carbonatos y/o Silicatos de Calcio.

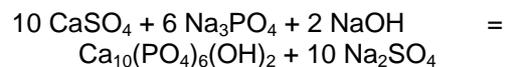
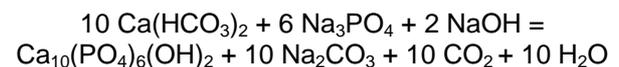
En presencia de suficiente Alcalinidad, realmente, precipita un Fosfato Básico de Calcio, el cual es menos adherente y forma un lodo más fluido que el Fosfato de Calcio.

El Magnesio es precipitado como  $Mg(OH)_2$  o bien como Silicato de Magnesio.

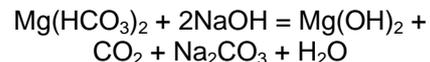
Este programa provee las condiciones ideales para la precipitación del Calcio como Hidróxiapatito de Calcio y del Magnesio como Serpentina y requiere que los lodos formados sean acondicionados con Orgánicos que aumenten la fluidez de los mismos y faciliten su extracción mediante las purgas.

Las reacciones químicas son las siguientes:

- La dureza al Calcio precipita como Fosfato Básico de Calcio, en presencia de suficiente alcalinidad al OH.



- El Magnesio es precipitado como  $Mg(OH)_2$ .



- O como Silicato de Magnesio:



Una de las reacciones secundarias que debe evitarse, es la formación de  $Mg_3(P_4O_{10})_2$ , el cual es ligeramente soluble en agua y forma depósitos muy adherentes. Su formación se debe a los altos residuales de Fosfato, bajo contenido de sílice en el agua de la caldera y bajo contenido de OH

#### CONTROL

El control convencional con Fosfatos, implica el mantener cantidades residuales de Fosfatos e hidróxidos en el agua del caldero. Valores típicos de Fosfatos residuales varían entre 20-60 ppm. Si son controlados sin un desfogue excesivo, la alcalinidad de hidróxidos se mantiene en el rango de 100-350 ppm de NaOH. Un exceso de alcalinidad puede promover el espumamiento.

#### VENTAJAS

Bajo precio y fácil aplicación y control

#### **DESVENTAJAS**

- Gran aporte de sólidos al sistema, por lo que se considera como "SUCIO".
- Altas purgas del caldero.
- Mayor consumo de energía.
- No está diseñado para el transporte de Hierro.
- Si se sobredosifica y se tiene bajos contenidos de Sílice y alcalinidad (OH), en el agua del caldero, se puede formar un depósito muy adherente de  $Mg_3(PO_4)_2$ .
- Si se subdosifica, se incrementarán los depósitos y la sílice en el agua y vapor.
- Un exceso de la alcalinidad, promueve el espumamiento.

#### **4. PROGRAMA DE TRATAMIENTO INTERNO CON POLIMEROS**

##### **CARACTERISTICAS**

Es un Programa desarrollado por la Cía. NALCO CHEMICAL y se basa en una Tecnología relativamente nueva de TODO POLIMEROS para el control de las incrustaciones y depósitos en los calderos.

Está diseñado para usar en calderos de todo tipo, hasta 1500 psi de presión.

##### **FUNDAMENTO**

En este tipo de tratamiento con Polímeros, se mantiene en solubilidad la dureza de calcio y magnesio y dispersa las sales de hierro y otras en el agua del caldero, evitando que éstas se depositen en la metalurgia interna del caldero.

Los polímeros forman complejo solubles con las sales de calcio y magnesio del agua. Estos complejos recién formados contribuyen sólo a los sólidos disueltos y son eliminados a través de la purga o desfogue continuo.

Los polímeros también ayudan en el acondicionamiento de cualquier contaminación de sólidos suspendidos que puedan haber ingresado al caldero a través del agua de alimentación, evitando su adherencia al metal del caldero.

Permite mantener una película delgada de Magnetita  $Fe_3O_4$ , aún cuando en el sistema se tenga un contenido alto de óxidos de hierro, porque los dispersa y no deja que se adhieran a la película pasivante.

Adicionalmente, posee un antiespumante en su composición, que evita el arrastre de partículas, asegurando un vapor de buena calidad.

#### **CONTROL**

El control del programa con Polímeros, es sencillo y está basado en un balance másico de los iones contaminantes y el residual del producto en el agua del caldero.

#### **VENTAJAS**

- Bajas Purgas.
- Utilización más eficiente de la energía para producir vapor.
- Incremento de la confiabilidad Operativa y del Factor de Servicio de los calderos.
- Disminución de los costos de mantenimiento al eliminarse o reducirse las limpiezas químicas del caldero.
- Alto transporte de la dureza, sílice y hierro a través del caldero, incluso superior al 100%, cuando éste se encuentra con depósitos.
- Provee excelentes propiedades de pasivación de metales, efectuando un control efectivo de la corrosión.
- Es un producto líquido, de fácil dosificación, que contiene un antiespumante en su composición, que asegura la producción de vapor de buena calidad.
- No es corrosivo, aún si se sobredosifica.

#### **DESVENTAJAS**

- Mayor Precio, comparado con el Fosfato Trisódico (1.73 vs. 0.64 US\$/Lb).

#### **5. EVALUACION COMPARATIVA:**

Para facilitar una evaluación comparativa que permita determinar la conveniencia de usar el programa de tratamiento interno a base de Polímeros, o el tradicional a base de Fosfato Trisódico, se ha seleccionado al Caldero APIN con este propósito.

Desde el año 1991, se viene usando en forma sostenida el antincrustante a base de polímeros en los calderos de Refinería Talara. Sin embargo, en algunos períodos se ha usado el Fosfato Trisódico.

La metodología de evaluación seguida, considera los correspondientes aspectos técnicos y económicos. La evaluación técnica es para determinar las ventajas comparativas de ambos programas de tratamiento interno y la evaluación económica es para cuantificar económicamente las ventajas comparativas, establecidas en la evaluación Técnica.

### **RESULTADOS Y DISCUSION**

#### **1. EVALUACION TECNICA**

## 1.1 BALANCE MASICO DE IONES

impurezas del caldero APIN, de los programas a base de Polímeros y Fosfato Trisódico.

En la tabla 1 se muestra un resumen de los resultados de los balances de masa típicos de las

**TABLA 1: RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS BALANCES DE MASA TIPICOS CALDERO APIN**

| SIMBOLO                    | DESCRIPCIÓN  | TIPO DE PROGRAMA |          |
|----------------------------|--|------------------|----------|
|                            |  | POLIMEROS        | FOSFATOS |
| % BD-Cl                    | % de purga en base a cloruros                            | 2.6              | 5.1      |
| CC-Cl                      | Ciclos de concentración en base a cloruros               | 38.0             | 19.6     |
| % Tr. Fe-Cl                | % de transporte de Hierro en base a cloruros             | 88.1             | 26.3     |
| % Tr. SiO <sub>2</sub> -Cl | % de transporte de Sílice en base a cloruros             | 87.3             | 34.1     |
| % Tr. DTA-Cl               | % de transporte de Dureza Total Acida en base a cloruros | 112.6            | 67.5     |
| FW-Cl                      | Flujo de agua de alimentación en base a cloruros, MMLBD  | 1.2745           | 1.3078   |
| BD-Cl                      | Flujo de agua de purga en base a cloruros, MMLBD         | 0.0335           | 0.0669   |
| SF                         | Flujo de producción de vapor, MMLBD                      | 1.241            | 1.241    |

NOTA: EN LOS ANEXOS Nº 1 Y 2, SE DETALLAN LOS BALANCES DE CADA PROGRAMA

En las Hojas de Cálculo mostradas en los Anexos Nº 1 y 2 se detallan los balances de masa típicos del caldero APIN, correspondiente a los programas a base de Polímeros y Fosfato Trisódico, respectivamente.

Entre los principales comentarios, tenemos los siguientes:

### **CICLOS DE CONCENTRACION:**

Mayor ciclaje de concentración en el tratamiento con Polímeros, comparado con el Fosfato (38.0 vs. 19.6), debido, principalmente, a su mayor capacidad de transporte de iones.

Si se tiene en cuenta los bajos niveles de iones presentes en el agua del caldero, por ser el tratamiento con Polímeros un programa "limpio"; es factible incrementar aún más los ciclos de concentración, hasta los valores máximos recomendados por el fabricante NALCO CHEMICAL, que es de 50 ciclos.

### **PURGA DEL CALDERO:**

Menor purga del caldero, se observa en el tratamiento con Polímeros que con el Fosfato (2.6 vs. 5.1 %).

Este menor % de purgas se debe a la mayor relación de concentración mencionada en el ítem anterior. Consecuentemente, se tiene, para el caso del tratamiento con Polímeros, un menor consumo de agua de alimentación.

Esta situación se explica por el hecho de que el tratamiento con Polímeros fundamenta su accionar en la solubilización y dispersión de las impurezas; mientras que, por el contrario, el Fosfato acondiciona y precipita las impurezas en forma de LODOS, requiriendo su extracción mediante las purgas. De allí que las necesidades de las purgas sea mayores en el caso del tratamiento con Fosfatos.

### **TRANSPORTE DE IONES:**

#### **- DUREZA**

Mucho mayor transporte de Dureza, se observa en el tratamiento con Polímeros que con el Fosfato (112.6 vs. 67.5 %).

El alto % de transporte de la dureza, en el programa a base de Polímeros, se explica por una probable remoción de la dureza depositada o incrustada en el sistema, en forma de "caliche".

El Programa con Fosfatos, se considera "sucio" por el alto volumen de sólidos existentes en el agua del caldero, que generan incrustaciones. Con el descubrimiento de los polímeros sintéticos se ha reducido la formación de incrustaciones de fosfato de calcio, mejorando la solubilización de éste en el agua.

#### **- FIERRO**

Mayor transporte de Hierro, se observa con el tratamiento con Polímeros que con el Fosfato (88.1 vs. 26.3 %).

El tratamiento con Fosfatos no está diseñado para el control del Hierro. En cambio, con el de Polímeros se tiene altos % de transporte de Hierro, incluso superior al 100%, si el caldero se encuentra con depósitos.

#### – **SILICE**

Mayor transporte de sílice, se observa, con el tratamiento con Polímeros que con el Fosfato (87.3 vs. 34.1 %).

### **1.2 OTRAS CONSIDERACIONES TÉCNICAS**

#### **AHORRO DE ENERGIA**

Por la menor o casi nula formación de incrustaciones que origina el tratamiento con Polímeros, comparado con el de Fosfatos, mejora la eficiencia de la transferencia de calor en el sistema, reduciéndose las necesidades de combustible para la producción de vapor.

En términos generales, se estima que con el uso de Polímeros se mejora la transferencia de calor en los calderos entre el 10 y 12%, comparado con el Fosfato Trisódico.

#### **CONFIABILIDAD OPERATIVA**

El mejor control de los agentes incrustantes que provee el uso de Polímeros, por su alto mecanismo de transporte, ha eliminado las paradas imprevistas en los calderos por falla de los tubos, ocasionado por sobrecalentamiento de los mismos y ha minimizado, también las necesidades de limpiezas químicas periódicas.

Como consecuencia de estas ventajas, se tiene un caldero con un mayor Factor de Servicio y una mayor Confiabilidad Operativa.

#### **CALIDAD DEL VAPOR**

Por ser el Polímero, un producto líquido, de fácil dosificación y que además posee en su composición un ANTIESPUMANTE; provee un vapor de mayor calidad, al tener un menor arrastre de partículas.

#### **CONTROL DE CORROSIÓN**

El mecanismo de formación de una película delgada de magnetita en toda la metalurgia interna del caldero, aún cuando se tenga un contenido alto de óxidos de Hierro en el sistema; que fomenta el uso de Polímeros, provee excelentes propiedades de pasivación a dicha metalurgia, permitiendo un efectivo control de la corrosión.

Sin embargo, es importante hacer notar la necesidad de un adecuado control del oxígeno

disuelto en el agua del caldero, para asegurar la formación de la película pasivante, con el espesor adecuado.

## **2. EVALUACION ECONOMICA**

### **2.1 COSTO DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS**

El costo anual de los productos químicos, utilizados contra el incrustamiento y corrosión del caldero APIN con los programas de Polímeros y Fosfatos, con de 5,522.2 y 2,011.0 US\$, respectivamente.

El mayor precio del Polímero, comparado con el del Fosfato Trisódico, incide principalmente en estos costos (1.73 vs. 0.64 US\$/kg.).

En la tabla 2, se detallan los consumos promedios y precios de los productos químicos, usados en ambos programas, para el tratamiento del caldero APIN.

### **2.2 AHORROS**

Los ahorros por el uso del programa de tratamiento interno del agua de los calderos a base de Polímeros, se han estimado considerando solamente el menor consumo de agua por las menores purgas, comparado con el programa a base de Fosfatos; sin tener en cuenta otros aspectos de importancia económica, tales como la eliminación de las paradas imprevistas de los calderos por falla de los tubos por sobrecalentamiento, causado a su vez por el incrustamiento de los tubos, paradas no programadas de la unidad de recuperación de gases por deposición de sílice en los álabes de turbinas, eliminación de las limpiezas químicas periódicas de los calderos, etc

En la tabla 3, se muestra el resumen de los ahorros estimados.

#### **2.2.1. POR MENOR CONSUMO DE AGUA**

Los menores requerimientos de purgas, implica menores requerimientos de agua de reposición.

Los mayores ahorros por el uso del programa a base de Polímeros, se debe principalmente, al menor consumo de agua.

#### **2.2.2. POR MENOR CONSUMO DE ENERGIA**

Los menores requerimientos de agua de reposición, implica a su vez, un menor requerimiento de la energía necesaria para calentar esta agua hasta el punto de saturación.

### 2.2.3. POR MENOR CONSUMO DE PRODUCTOS QUIMICOS

Como consecuencia del menor requerimiento de agua de reposición, disminuye también, el requerimiento de los productos químicos necesarios para el tratamiento interno del agua para los calderos.

En el Anexo 3, se muestra la Hoja de Cálculo, con el detalle de los ahorros obtenidos en el caldero APIN.

### 2.2.4. TOTAL

El ahorro total estimado en el caldero APIN por el uso del programa de tratamiento interno a base de Polímeros, comparado con el programa a base de Fosfatos y determinado en el presente estudio, es de 48,839 US\$/Año o de 107.7 US\$/MMLb de vapor producido.

Como la producción total promedio en los calderos de Refinería Talara, es de aproximadamente de 1,703.8 MMLb/año; entonces el AHORRO TOTAL por el uso del programa a base de Polímeros es **183.5 MUS\$/Año**.

**TABLA 2: COSTOS DE LOS PRODUCTOS QUIMICOS ANTINCRUSTANTES CALDERO APIN**

| PRODUCTO QUIMICO          | TIPO PROGRAMA DE TRATAMIENTO |                         |                    |                      |                         |                    |
|---------------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------|-------------------------|--------------------|
|                           | FOSFATOS                     |                         |                    | POLIMEROS            |                         |                    |
|                           | CONSUMO PROM. MES LB         | PRECIO UNITARIO US\$/LB | COSTO MENSUAL US\$ | CONSUMO PROM. MES LB | PRECIO UNITARIO US\$/LB | COSTO MENSUAL US\$ |
| Fosfato Trisódico         | 250.8                        | 0.64                    | 159.6              |                      |                         |                    |
| Soda cáustica             | 209.0                        | 0.04                    | 8.0                |                      |                         |                    |
| Acondicionador de lodos   | 0                            | 5.0                     | 0.0                |                      |                         |                    |
| Polímero "Transport Plus" |                              |                         |                    | 266.0                | 1.73                    | 460.2              |
| TOTAL MES                 |                              |                         | 167.6              |                      |                         | 460.2              |
| COSTO TOTAL ANUAL         |                              |                         | <b>2,011.0</b>     |                      |                         | <b>5,522.2</b>     |

**TABLA 3: ESTIMADO DE LOS AHORROS POR USO DE PROGRAMA A BASE DE POLIMEROS COMPARADO CON PROGRAMA A BASE DE FOSFATOS**

| DESCRIPCION  | RESULTADO OBTENIDO |
|--|--------------------|
| 1. CALDERO APIN  |                    |
| 1.1- PRODUCCION DE VAPOR MLBS/AÑO                        | 453,477            |
| 1.2- COSTO DEL PRODUCTO ANTINCRUSTANTE, US\$/AÑO         | 5,522              |
| 1.3- REDUCCION VOLUMEN DE AGUA POR MENORES PURGAS:       |                    |
| 1.3.1. MLBS/AÑO  | 12,130             |
| 1.3.2. M <sup>3</sup> /AÑO                               | 5,532              |
| 1.4- AHORROS POR MENORES PURGAS O DESFOGUES, US\$/AÑO:   |                    |
| 1.4.1- POR MENOR CONSUMO DE AGUA                         | 27,771             |
| 1.4.2- POR MENOR CONSUMO DE ENERGIA                      | 20,297             |
| 1.4.3- POR MENOR CONSUMO DE PRODUCTOS QUIMICOS           | 771                |
| 1.4.4- AHORRO TOTAL:                                     |                    |
| 1.4.4.1. US\$/AÑO  | 48,839             |
| 1.4.4.2. US\$/MMLB VAPOR                                 | 107.7              |
| 2. PRODUCCION DE VAPOR TOTAL REFINERIA TALARA, MMLBS/AÑO | 1,703.8            |
| 3. AHORRO TOTAL EN CALDEROS DE REFINERIA, MUS\$/AÑO      | <b>183.5</b>       |

## CONCLUSIONES

El Programa de Tratamiento Interno del agua para los calderos de Refinería Talara, a base de Polímeros (TRANSPORT PLUS de la Cía. NALCO Chemical), usado, ofrece mayores ventajas técnicas y económicas que el tradicional a base de Fosfato Trisódico.

Entre las principales ventajas técnicas que representa el uso del TRANSPORT PLUS en Refinería Talara son el hecho de tener un caldero "limpio", libre de incrustaciones y la producción de un vapor de buena calidad.

El uso del TRANSPORT PLUS en los calderos de Refinería Talara, genera un ahorro anual estimado en **183.5 MUS\$**, debido solamente al menor consumo de agua de alimentación, sin tener en cuenta la reducción de otros costos, tales como:

- Menor consumo de gas combustible
- Menores gastos de mantenimiento
- Menores gastos por la disminución de las limpiezas químicas periódicas
- Eliminación del lucro cesante por paradas imprevistas de los calderos por falla de los tubos por sobrecalentamiento.

## BIBLIOGRAFIA

- GESTRA. Artículo (1992). *"Disminución de las pérdidas de calor y agua por las menores purgas en las calderas"*. Boletín N° B1.2. Pág.1-Pág.4
- Nalco Chemical Company (1996). *"Manual del Agua-Naturaleza-Tratamiento y Aplicaciones"*. Tomo II. Editorial Mc Graw Hill.
- Herrera Arrieta Gustavo (1992). *"Evaluación de la operación del caldero APIN"*. Informe Técnico N° TL-DTEC-897-2000 del Dpto. Técnico de Refinería Talara de PETROPERU. Pág. 1- Pág.8.

**ANEXO 1**

**EVALUACION DE TRATAMIENTO INTERNO DEL AGUA CON PROGRAMA A BASE DE FOSFATO TRISODICO**

**BALANCE MASICO DE IONES TIPICO  
CALDERO APIN**

| MES  | AGUA DE ALIMENTACION DEAREADOR FV-5 (FW) |            |           |              |             |            |             |           |            | AGUA DEL CALDERO (B D) |            |           |              |             |            |             |           |             |            | %BD           | CC  | FW   | BD             | %Tr.Fe         | %Tr.SiO2 | %Tr.DTA | SF    |        |
|------|--|------------|-----------|--------------|-------------|------------|-------------|-----------|------------|------------------------|------------|-----------|--------------|-------------|------------|-------------|-----------|-------------|------------|---------------|-----|------|----------------|----------------|----------|---------|-------|--------|
|      | PH                                       | CL-<br>PPM | DT<br>PPM | C.E<br>UV/CM | SiO2<br>PPM | ALK.<br>PP | CaCO3<br>MO | Fe<br>PPM | DTA<br>PPM | PH                     | CL-<br>PPM | DT<br>PPM | C.E<br>UV/CM | SiO2<br>PPM | ALK.<br>PP | CaCO3<br>MO | Fe<br>PPM | SO3=<br>PPM | DTA<br>PPM | RESID.<br>PPM | Cl- | Cl-  | (MMLBD)<br>Cl- | (MMLBD)<br>Cl- | Cl-      | Cl-     | Cl-   | MMLBD  |
| ENE  | 7,6                                      | 0,7        | 0,0       | 14,4         | 0,02        | 0,0        | 2,0         | 0,02      | 0,07       | 10,5                   | 13,0       | 0,0       | 300,0        | 0,13        | 50,0       | 110,0       | 0,21      | 35,0        | 1,15       | 16,0          | 5,4 | 18,6 | 1,2357         | 0,0665         | 56,5     | 35,0    | 88,5  | 1,1692 |
| FEB  | 7,1                                      | 1,0        | 0,0       | 14,2         | 0,01        | 0,0        | 1,0         | 0,01      | 0,08       | 10,7                   | 22,3       | 0,0       | 366,0        | 0,15        | 60,0       | 97,0        | 0,16      | 52,0        | 1,64       | 25,0          | 4,5 | 22,3 | 1,1143         | 0,0500         | 71,7     | 67,3    | 91,9  | 1,0643 |
| MAR  | 8,4                                      | 0,7        | 0,0       | 10,4         | 0,02        | 0,0        | 4,0         | 0,02      | 0,09       | 10,7                   | 16,0       | 0,0       | 227,0        | 0,08        | 51,0       | 95,0        | 0,18      | 56,0        | 1,41       | 26,0          | 4,4 | 22,9 | 1,2036         | 0,0527         | 39,4     | 17,5    | 68,5  | 1,1509 |
| ABR  | 8,2                                      | 0,9        | 0,0       | 16,0         | 0,01        | 0,0        | 1,0         | 0,02      | 0,07       | 10,7                   | 17,6       | 0,0       | 297,0        | 0,10        | 41,0       | 63,0        | 0,15      | 32,0        | 1,55       | 17,4          | 5,3 | 18,7 | 1,2732         | 0,0680         | 40,1     | 53,4    | 118,3 | 1,2052 |
| MAY  | 6,8                                      | 1,8        | 0,0       | 16,2         | 0,02        | 0,0        | 5,0         | 0,04      | 0,14       | 10,7                   | 30,0       | 0,0       | 275,0        | 0,15        | 41,0       | 58,0        | 0,11      | 42,9        | 0,97       | 15,6          | 5,9 | 17,0 | 1,3840         | 0,0812         | 16,1     | 44,0    | 40,6  | 1,3028 |
| JUN  | 6,7                                      | 1,0        | 0,0       | 15,2         | 0,02        | 0,0        | 4,0         | 0,02      | 0,07       | 10,7                   | 20,8       | 0,0       | 341,0        | 0,14        | 60,0       | 100,0       | 0,09      | 50,3        | 1,33       | 23,0          | 4,6 | 21,9 | 1,4331         | 0,0655         | 20,6     | 32,0    | 86,8  | 1,3676 |
| JUL  | 8,4                                      | 1,0        | 0,0       | 14,4         | 0,02        | 0,0        | 2,8         | 0,03      | 0,08       | 10,6                   | 18,0       | 0,0       | 339,0        | 0,13        | 65,0       | 90,0        | 0,09      | 48,1        | 0,59       | 19,0          | 5,3 | 18,9 | 1,5553         | 0,0821         | 15,8     | 34,3    | 38,9  | 1,4732 |
| AGO  | 8,1                                      | 1,1        | 0,0       | 13,8         | 0,01        | 0,0        | 4,0         | 0,02      | 0,08       | 10,8                   | 20,0       | 0,0       | 398,0        | 0,09        | 78,0       | 139,0       | 0,04      | 35,9        | 0,76       | 18,2          | 5,5 | 18,2 | 1,4826         | 0,0815         | 11,0     | 49,5    | 52,3  | 1,4011 |
| SET  | 9,3                                      | 1,0        | 0,0       | 20,0         | 0,03        | 0,0        | 7,0         | 0,02      | 0,07       | 10,8                   | 18,0       | 0,0       | 406,0        | 0,09        | 85,0       | 137,0       | 0,09      | 48,5        | 0,59       | 20,0          | 5,3 | 18,9 | 1,3320         | 0,0703         | 23,8     | 15,8    | 44,5  | 1,2617 |
| OCT  | 9,2                                      | 0,9        | 0,0       | 12,3         | 0,01        | 0,0        | 3,0         | 0,02      | 0,08       | 10,9                   | 19,0       | 0,0       | 353,0        | 0,11        | 92,0       | 124,0       | 0,09      | 44,4        | 0,82       | 15,0          | 4,7 | 21,1 | 1,3150         | 0,0623         | 21,3     | 52,1    | 48,6  | 1,2527 |
| NOV  | 7,5                                      | 0,6        | 0,0       | 14,9         | 0,02        | 0,0        | 7,0         | 0,03      | 0,09       | 10,8                   | 10,7       | 0,0       | 333,0        | 0,13        | 75,0       | 110,0       | 0,09      | 39,5        | 0,94       | 17,0          | 5,6 | 17,8 | 1,1995         | 0,0673         | 16,8     | 36,4    | 58,6  | 1,1322 |
| DIC  | 7,4                                      | 0,8        | 0,0       | 15,6         | 0,02        | 0,0        | 5,0         | 0,02      | 0,08       | 10,8                   | 16,6       | 0,0       | 351,0        | 0,10        | 77,0       | 117,0       | 0,09      | 49,2        | 1,46       | 22,0          | 4,8 | 20,8 | 1,1668         | 0,0562         | 21,7     | 24,1    | 88,0  | 1,1106 |
| PROM | 7,9                                      | 0,9        | 0,0       | 14,8         | 0,02        | 0,0        | 3,8         | 0,02      | 0,08       | 10,7                   | 18,5       | 0,0       | 332,2        | 0,12        | 64,6       | 103,3       | 0,12      | 44,5        | 1,10       | 19,5          | 5,1 | 19,6 | 1,3078         | 0,0669         | 26,3     | 34,1    | 67,5  | 1,2410 |

**LEYENDA**

- % BD-Cl : % de Purga en base a Cloruros
- CC-Cl : Ciclos de Concentración en base a Cloruros
- FW-Cl : Flujo de Agua de Alimentación en base a Cloruros, MMLB/día
- BD-Cl : Flujo de Purga en base a Cloruros, MMLB/día
- %TrFe-Cl : % de transporte Hierro en base a Cloruros
- %SiO2-Cl : % de transporte Sílice en base a Cloruros
- %Tr DTA-Cl : % de transporte Dureza Total Acida en base a Cloruros
- % Tr CE-Cl : % de transporte Conductividad Especifica en base a Cloruros
- SF : Flujo de la Producción de Vapor, MMLB/día

## ANEXO 2

### EVALUACION DE TRATAMIENTO INTERNO DEL AGUA CON PROGRAMA A BASE DE FOSFATO TRISODICO

#### BALANCE MASICO DE IONES TIPICO CALDERO APIN

| MES  | AGUA DE ALIMENTACION DEAREADOR FV-5 (FW) |        |        |           |          |         |          |        |         | AGUA DEL CALDERO (B D) |        |        |           |          |         |          |        |          |      |            | %BD | CC   | FW          | BD          | %Tr.Fe | %Tr.SiO2 | %Tr.DTA | SF     |
|------|--|--------|--------|-----------|----------|---------|----------|--------|---------|------------------------|--------|--------|-----------|----------|---------|----------|--------|----------|------|------------|-----|------|-------------|-------------|--------|----------|---------|--------|
|      | PH                                       | CL-PPM | DT PPM | C.E UV/CM | SiO2 PPM | ALK. PP | CaCO3 MO | Fe PPM | DTA PPM | PH                     | CL-PPM | DT PPM | C.E UV/CM | SiO2 PPM | ALK. PP | CaCO3 MO | Fe PPM | SO3= PPM | DTA  | RESID. PPM | CI- | CI-  | (MMLBD) CI- | (MMLBD) CI- | CI-    | CI-      | CI-     | MMLBD  |
| ENE  | 8,0                                      | 1,2    | 0,0    | 14,8      | 0,03     | 0,0     | 2,7      | 0,01   | 0,06    | 9,5                    | 51,5   | 0,0    | 506,7     | 0,83     | 26,0    | 100,7    | 0,52   | 55,7     | 4,73 | 248,4      | 2,4 | 41,5 | 1,1981      | 0,0289      | 125,3  | 66,7     | 189,9   | 1,1692 |
| FEB  | 7,9                                      | 1,3    | 0,0    | 14,8      | 0,03     | 0,0     | 4,5      | 0,02   | 0,10    | 9,6                    | 51,8   | 0,0    | 484,1     | 0,82     | 30,4    | 121,5    | 0,61   | 62,1     | 3,70 | 283,0      | 2,5 | 39,5 | 1,0919      | 0,0276      | 77,2   | 69,2     | 93,6    | 1,0643 |
| MAR  | 8,2                                      | 1,1    | 0,0    | 13,5      | 0,02     | 0,0     | 3,0      | 0,01   | 0,09    | 9,6                    | 50,6   | 0,0    | 497,1     | 0,81     | 22,7    | 98,6     | 0,48   | 56,8     | 4,51 | 361,1      | 2,2 | 46,0 | 1,1765      | 0,0256      | 104,4  | 88,1     | 109,0   | 1,1509 |
| ABR  | 8,2                                      | 1,2    | 0,0    | 14,4      | 0,01     | 0,0     | 3,5      | 0,01   | 0,09    | 9,5                    | 48,7   | 0,0    | 481,1     | 0,72     | 22,1    | 71,9     | 0,35   | 49,0     | 3,87 | 285,5      | 2,5 | 40,6 | 1,2357      | 0,0305      | 86,3   | 177,6    | 106,0   | 1,2052 |
| MAY  | 8,1                                      | 1,4    | 0,0    | 14,5      | 0,01     | 0,0     | 2,5      | 0,01   | 0,11    | 9,6                    | 45,1   | 0,0    | 441,3     | 0,75     | 15,6    | 67,3     | 0,32   | 42,9     | 3,76 | 286,7      | 3,1 | 32,2 | 1,3446      | 0,0418      | 99,4   | 232,9    | 106,2   | 1,3028 |
| JUN  | 8,6                                      | 1,4    | 0,0    | 14,3      | 0,03     | 0,0     | 3,3      | 0,03   | 0,10    | 10,2                   | 48,7   | 0,0    | 496,7     | 0,85     | 15,0    | 78,3     | 0,76   | 51,6     | 4,55 | 314,6      | 2,8 | 36,1 | 1,4066      | 0,0390      | 70,2   | 78,5     | 126,1   | 1,3676 |
| JUL  | 8,5                                      | 1,6    | 0,0    | 15,5      | 0,03     | 0,0     | 3,7      | 0,01   | 0,11    | 10,3                   | 53,8   | 0,0    | 537,8     | 0,82     | 17,0    | 81,3     | 0,34   | 48,1     | 4,45 | 421,8      | 2,9 | 34,5 | 1,5172      | 0,0440      | 98,6   | 79,3     | 117,3   | 1,4732 |
| AGO  | 8,9                                      | 1,7    | 0,0    | 34,6      | 0,01     | 0,0     | 5,4      | 0,01   | 0,12    | 10,7                   | 58,2   | 0,0    | 573,3     | 0,59     | 34,1    | 85,8     | 0,42   | 35,9     | 4,36 | 317,4      | 2,8 | 35,3 | 1,4420      | 0,0409      | 119,1  | 167,4    | 103,1   | 1,4011 |
| SEP  | 8,6                                      | 1,6    | 0,0    | 16,5      | 0,01     | 0,0     | 3,1      | 0,01   | 0,14    | 10,5                   | 50,7   | 0,0    | 497,7     | 0,56     | 13,3    | 58,1     | 0,37   | 49,4     | 4,96 | 357,0      | 3,1 | 32,1 | 1,3023      | 0,0406      | 115,2  | 174,4    | 110,3   | 1,2617 |
| OCT  | 8,6                                      | 1,3    | 0,0    | 12,3      | 0,04     | 0,0     | 3,5      | 0,03   | 0,13    | 10,7                   | 52,1   | 0,0    | 490,0     | 0,87     | 30,9    | 114,3    | 0,72   | 44,6     | 5,22 | 304,9      | 2,5 | 40,0 | 1,2848      | 0,0321      | 59,9   | 54,3     | 100,3   | 1,2527 |
| NOV  | 8,5                                      | 1,2    | 0,0    | 11,3      | 0,04     | 0,0     | 1,8      | 0,01   | 0,10    | 10,4                   | 49,9   | 0,0    | 503,6     | 0,94     | 23,6    | 79,9     | 0,43   | 49,6     | 4,10 | 362,7      | 2,3 | 42,7 | 1,1594      | 0,0272      | 100,7  | 55,1     | 96,1    | 1,1322 |
| DIC  | 8,4                                      | 1,1    | 0,0    | 11,4      | 0,02     | 0,0     | 1,2      | 0,01   | 0,10    | 9,6                    | 46,1   | 0,0    | 470,9     | 0,73     | 11,2    | 100,4    | 0,37   | 42,4     | 5,28 | 469,0      | 2,4 | 41,2 | 1,1382      | 0,0276      | 89,8   | 88,6     | 128,2   | 1,1106 |
| PROM | 8,4                                      | 1,3    | 0,0    | 15,7      | 0,02     | 0,0     | 3,2      | 0,01   | 0,10    | 10,0                   | 50,6   | 0,0    | 498,4     | 0,77     | 21,8    | 88,2     | 0,47   | 49,0     | 4,46 | 334,3      | 2,6 | 38,0 | 1,2745      | 0,0335      | 88,1   | 87,3     | 112,6   | 1,2410 |

#### LEYENDA

- % BD-Cl : % de Purga en base a Cloruros
- CC-Cl : Ciclos de Concentración en base a Cloruros
- FW-Cl : Flujo de Agua de Alimentación en base a Cloruros, MMLB/día
- BD-Cl : Flujo de Purga en base a Cloruros, MMLB/día
- %TrFe-Cl : % de transporte Hierro en base a Cloruros
- %SiO2-Cl : % de transporte Sílice en base a Cloruros
- %Tr DTA-Cl : % de transporte Dureza Total Acida en base a Cloruros
- % Tr CE-Cl : % de transporte Conductividad Especifica en base a Cloruros
- SF : Flujo de la Producción de Vapor, MMLB/día

**ANEXO 3**

**INFORME MENSUAL DE LOS AHORROS POR MENORES PURGAS  
CALDERO APIN**

| DESCRIPCION                                       | UNIDADES  | ENE    | FEB    | MAR    | ABR    | MAY    | JUN    | JUL    | AGO    | SET    | OCT    | NOV    | DIC    | TOTAL         | PROMEDIO |
|---|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|----------|
| <b>1- REDUCCION DE PURGAS</b>                     |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |               |          |
| VAPOR PRODUCIDO SF                                | M.LBS/Mes | 36.245 | 29.800 | 35.678 | 36.156 | 40.387 | 41.028 | 45.669 | 43.434 | 37.851 | 38.834 | 33.966 | 34.429 | 453.477       | 37.790   |
|   | MMLBD     | 1,1692 | 1,0643 | 1,1509 | 1,2052 | 1,3028 | 1,3676 | 1,4732 | 1,4011 | 1,2617 | 1,2527 | 1,1322 | 1,1106 | 15            | 1,2410   |
|   | LBS/H     | 48.717 | 44.346 | 47.954 | 50.217 | 54.283 | 56.983 | 61.383 | 58.379 | 52.571 | 52.196 | 47.175 | 46.275 | 620.479       | 51.707   |
| <b>1.1- PROGRAMA A BASE DE POLIMEROS</b>          |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |               |          |
| PORCENTAJE DE PURGA % BD                          | %         | 2,41   | 2,53   | 2,18   | 2,47   | 3,12   | 2,77   | 2,90   | 2,84   | 3,11   | 2,50   | 2,34   | 2,43   | 32            | 2,63     |
| FLUJO AGUA DE ALIMENTACION FW                     | M.LBS/Mes | 37.140 | 30.574 | 36.473 | 37.072 | 41.687 | 42.197 | 47.033 | 44.704 | 39.066 | 39.829 | 34.780 | 35.286 | 465.841       | 38.820   |
| FLUJO AGUA DE PURGA BD                            | M.LBS/Mes | 895    | 774    | 795    | 916    | 1.301  | 1.169  | 1.364  | 1.270  | 1.215  | 996    | 814    | 857    | 12.364        | 1.030    |
| <b>1.2- PROGRAMA A BASE DE FOSFATO TRISODICO</b>  |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |               |          |
| PORCENTAJE DE PURGA % BD                          | %         | 5,38   | 4,48   | 4,38   | 5,34   | 5,87   | 4,57   | 5,28   | 5,50   | 5,28   | 4,74   | 5,61   | 4,82   | 61            | 5,10     |
| FLUJO AGUA DE ALIMENTACION FW                     | M.LBS/Mes | 38.306 | 31.198 | 37.312 | 38.196 | 42.905 | 42.993 | 48.215 | 45.962 | 39.961 | 40.766 | 35.985 | 36.172 | 477.971       | 39.831   |
| FLUJO AGUA DE PURGA BD                            | M.LBS/Mes | 2.061  | 1.398  | 1.634  | 2.040  | 2.519  | 1.965  | 2.546  | 2.528  | 2.110  | 1.932  | 2.019  | 1.743  | 24.494        | 2.041    |
| <b>1.3- REDUCCION DEL FLUJO DE AGUA DE PURGAS</b> |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |               |          |
|   | M.LBS/Mes | 1.166  | 624    | 839    | 1.124  | 1.218  | 796    | 1.182  | 1.258  | 895    | 937    | 1.205  | 886    | 12.130        | 1.011    |
| <b>2.- COSTOS</b>                                 |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |               |          |
| AGUA DESTILADA                                    | US\$/M3   | 3,56   | 3,56   | 3,56   | 3,56   | 3,56   | 3,56   | 3,56   | 3,56   | 3,56   | 3,56   | 3,56   | 3,56   | 43            | 3,56     |
| DESMINERALIZACION DEL AGUA DESTILADA              | US\$/M3   | 1,46   | 1,46   | 1,46   | 1,46   | 1,46   | 1,46   | 1,46   | 1,46   | 1,46   | 1,46   | 1,46   | 1,46   | 18            | 1,46     |
| AGUA DESMINERALIZADA                              | US\$/M3   | 5,02   | 5,02   | 5,02   | 5,02   | 5,02   | 5,02   | 5,02   | 5,02   | 5,02   | 5,02   | 5,02   | 5,02   | 60            | 5,02     |
| GAS NATURAL                                       | US\$/MSCF | 3,330  | 3,186  | 3,109  | 3,592  | 4,114  | 4,044  | 3,859  | 3,767  | 3,809  | 4,437  | 4,010  | 3,664  | 45            | 3,743    |
| TRATAMIENTO QUIMICO AGUA PARA CALDEROS            | US\$/MMLB | 63,6   | 63,6   | 63,6   | 63,6   | 63,6   | 63,6   | 63,6   | 63,6   | 63,6   | 63,6   | 63,6   | 63,6   | 763           | 63,6     |
| <b>3.- OTROS DATOS</b>                            |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |               |          |
| PODER CALORIFICO NETO DEL GAS NATURAL             | BTU/CF    | 962,7  | 964,8  | 962,4  | 964,5  | 961,3  | 966,9  | 976,4  | 969,3  | 968,0  | 964,9  | 962,0  | 964,0  | 11.587        | 965,6    |
| ENTALPIA DEL VAPOR PRODUCIDO                      | BTU/LB    | 472    | 472    | 472    | 472    | 472    | 472    | 472    | 472    | 472    | 472    | 472    | 472    | 5.664         | 472      |
| ENTALPIA DEL AGUA DE ALIMENTACION                 | BTU/LB    | 43     | 43     | 43     | 43     | 43     | 43     | 43     | 43     | 43     | 43     | 43     | 43     | 516           | 43       |
| DIFERENCIA DE ENTALPIA                            | BTU/LB    | 429    | 429    | 429    | 429    | 429    | 429    | 429    | 429    | 429    | 429    | 429    | 429    | 5.148         | 429      |
| <b>4.- AHORROS</b>                                |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |               |          |
| POR MENOR CONSUMO AGUA DESMINERALIZADA            | US\$/Mes  | 2.669  | 1.429  | 1.921  | 2.573  | 2.788  | 1.822  | 2.706  | 2.881  | 2.049  | 2.144  | 2.759  | 2.029  | 27.771        | 2.314    |
| POR MENOR CONSUMO DE ENERGIA                      | US\$/Mes  | 1.730  | 884    | 1.163  | 1.796  | 2.236  | 1.428  | 2.004  | 2.098  | 1.511  | 1.848  | 2.155  | 1.445  | 20.297        | 1.691    |
| POR MENOR CONSUMO PRODUCTOS QUIMICOS              | US\$/Mes  | 74     | 40     | 53     | 71     | 77     | 51     | 75     | 80     | 57     | 60     | 77     | 56     | 771           | 64       |
| AHORRO TOTAL                                      | US\$/Mes  | 4.473  | 2.353  | 3.138  | 4.441  | 5.102  | 3.301  | 4.785  | 5.059  | 3.617  | 4.051  | 4.990  | 3.530  | <b>48.839</b> | 4.070    |