

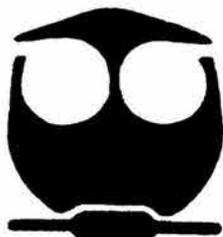


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"BASES Y PROCEDIMIENTOS PARA LA ELABORACION DE
UN DICTAMEN DE UN SISTEMA DE GENERACION DE VAPOR
EN UN CENTRO PROCESADOR DE GAS PARA GARANTIZAR
EL USO EFICIENTE DEL AGUA"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
I N G E N I E R A Q U I M I C A
P R E S E N T A
N O R M A D E L I A D I A Z V E R G A R A



EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA

MEXICO, D.F.

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado asignado:

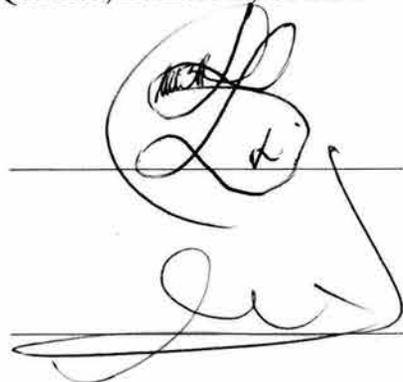
Presidente	Prof. Lucila Cecilia Méndez Chávez
Vocal	Prof. José Antonio Ortiz Ramírez
Secretario	Prof. José Fernando Barragán Aroche
1er. Suplente	Prof. Mariano Pérez Camacho
2do. Suplente	Prof. Alfonso Durán Moreno

Lugar de realización:

Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química, Edificio E, UNAM.

José Fernando Barragán Aroche
(ASESOR)

Norma Delia Diaz Vergara
(SUSTENTANTE)



DEDICATORIAS

Esta tesis está dedicada a todos las personas que compartieron conmigo los momentos más importantes de mi formación universitaria aún cuando físicamente era imposible su presencia.

Especialmente a mis Padres:

Don Ernesto Díaz Español y Doña Virginia Vergara Rodríguez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente por todo su apoyo a mis hermanas Belén, Guillermina y Araceli.

A mis tíos Antonio y Guadalupe y a Carlos y Leonor.

A mis sobrinos y primos.

A mis amigos.

A los Profesores de la Facultad de Química de la UNAM, especialmente al Ing. José Antonio Ortiz Ramírez.

A mi asesor de Tesis el Ing. José Fernando Barragán Aroche

A los miembros de mi jurado.

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Metodología del dictamen	5
2. CALDERAS	7
2.1. Descripción de las calderas	9
3. TRATAMIENTO DEL AGUA DE CALDERAS	15
3.1. Sustancias que forman incrustaciones	16
3.2. Sustancias corrosivas	17
3.3. Arrastres	18
3.4. Control de calidad del agua de caldera	19
3.5. Tratamiento externo	22
3.5.1. Clarifloculación	23
3.5.1.1. Clarificador circular	24
3.5.2. Suavización	25
3.5.2.1. Suavizador por lotes (Batch)	27
3.5.2.2. Suavizadores por sedimentación (continuo)	28
3.5.2.3. Suavizadores de lodos en suspensión (continuo)	28
3.5.2.4. Suavizador por sedimentación en caliente (continuo)	29
3.5.2.5. Suavizadores con fosfatos	30
3.5.3. Unidades de intercambio iónico	31
3.5.3.1. Materiales Inorgánicos para el intercambio catiónico	34
3.5.3.2. Materiales Orgánicos para el intercambio catiónico	35
3.5.3.3. Materiales para el intercambio aniónico	37
3.5.3.4. Desgasificadores	38
3.5.3.5. Intercambio básico	39
3.5.3.6. Desmineralización sin remoción de sílice	40
3.5.3.7. Desmineralización con remoción de sílice	40
3.5.3.8. Desmineralizadores de lecho mixto	41
3.5.3.9. Reducción de la alcalinidad	43

3.5.4. Electrodiálisis	44
3.5.5. Ósmosis inversa	45
3.5.6. Electrodesionización	45
3.5.7. Desaeradores	46
3.5.8. Comparación de los procesos de suavización de intercambio iónico	47
3.6. Tratamiento interno	49
3.6.1. Adición de sulfito de sodio	49
3.6.2. Adición de hidracina	52
3.6.3. Adición de fosfatos	56
3.6.4. Adición de morfolina	59
3.6.5. Adición de NaOH	63
3.6.6. Forma de adición de químicos	67
3.7. Purgado	71
3.7.1. Cálculo del purgado	71
4. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN NECESARIA	74
4.1. Recopilación de la información histórica del sistema global	76
4.2. Construcción del esquema del sistema global	79
4.3. Elaboración del esquema del sistema de generación de vapor y del sistema de desmineralización	81
4.4. Levantamiento en campo	85
4.4.1. Levantamiento de equipos y corrientes	85
4.4.2. Levantamiento fotográfico	85
4.4.3. Levantamiento de información de drenajes	87
4.4.4. Seguridad en campo	87
4.5. Diseño de las campañas de muestreo y aforo	89
4.5.1. Elaboración de un plan de muestreo	89
4.5.2. Selección de las estaciones potenciales de muestreo	90
4.5.3. Recomendaciones para el muestreo en campo	91
4.5.4. Generación de archivos de información recopilada	92
4.5.5. Formato de custodia	93

4.5.6. Procedimientos para el muestreo en campo	94
4.6. Procesamiento de la información histórica recopilada	97
4.6.1. Elaboración de las gráficas de flujos históricos	97
4.6.2. Elaboración de las gráficas de comportamiento histórico de parámetros críticos	98
4.6.3. Comparación de flujos históricos y aforados	99
4.6.4. Caracterización de las corrientes principales del sistema de generación de vapor	100
4.6.5. Comparación de parámetros históricos y campañas de muestreo	103
4.7. Integración y análisis de información	107
4.7.1. Elaboración del informe técnico del sistema	107
4.7.2. Actualización de los planos de drenajes	110
5. ELABORACIÓN DEL DICTAMEN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR	111
5.1. Componentes del dictamen	112
5.2. Procedimientos para la elaboración del dictamen del sistema de generación de vapor	113
5.3. Dictamen de un sistema de generación de vapor	117
6. CONCLUSIONES	145
7. BIBLIOGRAFÍA	148

APÉNDICE I	151
APÉNDICE II	158
APÉNDICE III	162
APÉNDICE IV	165
APÉNDICE V	169
APÉNDICE VI	171
APÉNDICE VII	173
APÉNDICE VIII	178
APÉNDICE IX	182
APÉNDICE X	186
GLOSARIO DE TÉRMINOS	198

INTRODUCCIÓN

La gran cantidad de vapor usado en la industria química y la necesidad de prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente, trae como consecuencia la continua implementación de medidas para optimizar el tratamiento del agua y asegurar su uso racional.

Este trabajo surge de la necesidad de optimizar el tratamiento y asegurar el uso eficiente del agua en Centro Procesador de Gas en una empresa petrolera, mediante el desarrollo del proyecto: “Estudios y anteproyecto para el sistema integral de manejo, tratamiento, usos y reciclaje de agua en un Centro Procesador de Gas”. El proyecto busca determinar las necesidades de crear nuevas instalaciones o bien de adecuar los sistemas para cumplir con los parámetros requeridos en las descargas y para tener la opción de reutilizar el agua del sistema bien sea agua cruda de alimentación, agua tratada, agua residual, entre otras. Teniendo como finalidad, la utilización de la menor cantidad de agua cruda de alimentación al Centro Procesador de Gas, minimizar el consumo y las pérdidas de agua al sistema, en otras palabras utilizar de forma eficiente el agua en el Centro Procesador de Gas.

El proyecto: “Estudios y anteproyecto para el sistema integral de manejo, tratamiento, usos y reciclaje de agua en un Centro Procesador de Gas”, se desarrolló en el Departamento de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la UNAM. Para su desarrollo se requirió de la integración de un grupo de trabajo dividido en tres áreas: administrativa, técnica y análisis, todas bajo la dirección de un coordinador general del proyecto (Figura 1.1). El proyecto fue planeado para realizarse en tres etapas, la primera de éstas, se refiere a la ingeniería conceptual en la que se desarrolla este trabajo (Las otras etapas se refieren a la ingeniería básica y a la ingeniería de detalle). Este trabajo se basa en la primera etapa del proyecto, las actividades en las que consistió fueron principalmente la toma de muestreos y aforos de corrientes, la recopilación y análisis de información y la elaboración de dictámenes de las instalaciones existentes.

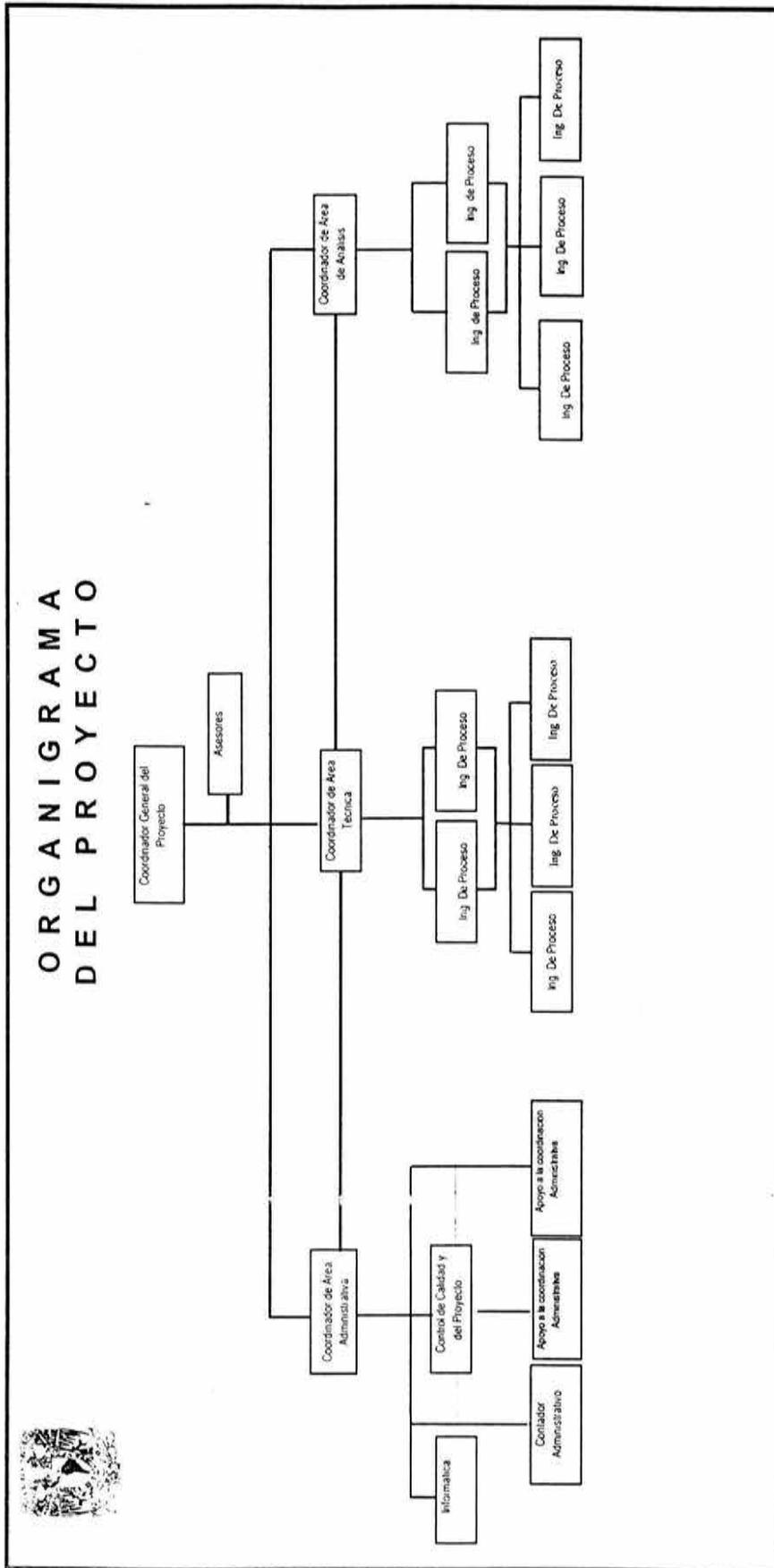
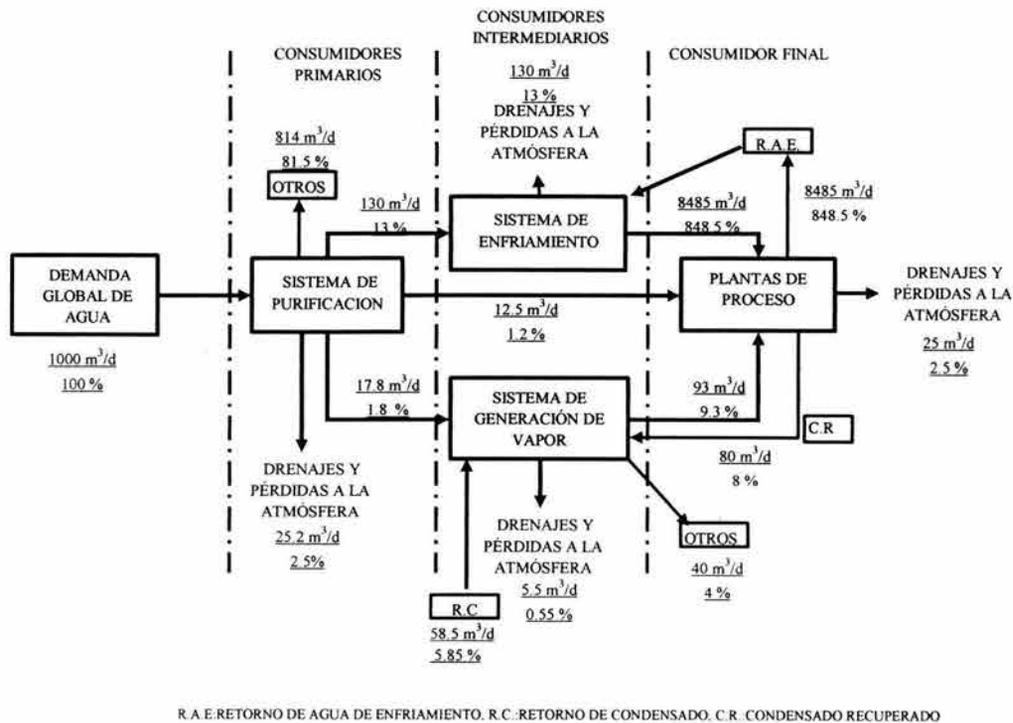


Figura 1.1 Organigrama.

En la Figura 1.2 se representa la distribución del agua en un de un Centro Procesador de Gas como un sistema global, conformado por los diferentes tratamientos aplicados al agua de entrada (demanda global), que se encuentran agrupados en subsistemas de acuerdo al proceso aplicado. En el sistema global, el consumo total de agua se considera consecuencia de los requerimientos de las plantas de procesos del Centro Procesador de Gas, misma que puede ser en forma de agua de enfriamiento, agua desmineralizada, agua clarificada o bien vapor, por esta razón se considera cada subsistema como un consumidor de agua.



R. A. E. RETORNO DE AGUA DE ENFRIAMIENTO. R. C.:RETORNO DE CONDENSADO. C. R.: CONDENSADO RECUPERADO

Figura 1.2 Distribución de agua en una planta química.

El uso eficiente del agua en el sistema global, será resultado del correcto desempeño de cada uno de los subsistemas que lo conforman. En una planta química el sistema de generación de vapor es uno de los principales consumidores de agua del sistema, por lo

tanto, el elaborar un dictamen que asegure el uso correcto del agua en un sistema de generación de vapor es una pieza fundamental para la utilización eficiente del agua dentro del sistema global.

De manera que, es objetivo de este trabajo el proporcionar las herramientas que permitan conocer y evaluar el comportamiento del agua del sistema de generación de vapor en un Centro Procesador de Gas, estableciendo las bases y procedimientos necesarios para la elaboración de un dictamen de un sistema de generación de vapor.

1.1. Metodología del dictamen

La elaboración del dictamen se puede dividir en cuatro pasos principales:

1. Recopilación de información del sistema.
2. Procesamiento de la información histórica del sistema.
3. Integración y análisis de la información existente.
4. Elaboración del dictamen.

Para poder elaborar un dictamen de cualquier sistema, es necesario contar con toda la información representativa de éste. Por lo que la recopilación de la información es el primer paso a seguir para la elaboración del dictamen, el procedimiento a seguir para la recopilación de la información histórica se describe en el Apartado 4.1. En los Apartados 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5 se describen los procedimientos a seguir para llevar a cabo la recopilación de la información en campo.

El segundo paso consiste en el procesamiento de toda la información histórica del sistema, el procedimiento para la realización de esta actividad se describe en el Apartado 4.6.

Posteriormente se realiza la integración y el análisis de la información del sistema de generación de vapor cuyo procedimiento a seguir se describe en el Apartado 4.7.

El dictamen se elabora en el capítulo cinco de este trabajo. En el Apartado 5.1 se listan los componentes que deberá contener el dictamen, y en el Apartado 5.2 se encuentran los procedimientos a seguir para su elaboración. Para facilitar la elaboración de un dictamen se incluye un dictamen de ejemplo en el Apartado 5.3, similar al entregado al término del proyecto mencionado

CALDERAS

El agua, una molécula simple de características extraordinarias, es mucho más que un recurso natural renovable, es la base de la vida de nuestro planeta. A primera vista parece extrema la enorme cantidad de agua existente, pero de esta gran cantidad real de agua la mayor parte es salada y se encuentra en los océanos; solo algo más del 2% del agua total es dulce (mucho de esta agua dulce es de difícil acceso: pozos, casquetes polares entre otros), por lo que los ecosistemas terrestres tienen a su disposición menos del 1% del total de agua en la tierra. Tradicionalmente se considera a los sectores urbano, industrial y agrícola como los principales usuarios del agua. De estos tres sectores el urbano y el industrial se caracterizan por que deterioran la calidad del agua. Por otro lado, existen tecnologías de depuración, de manera que, el agua usada puede ser regenerada y volverse a utilizar ahí donde se recupera.

Para propósitos industriales el agua se puede dividir en los siguientes tipos:

- Agua superficial proveniente de ríos, lagos y reservas.
- Agua subterránea
- Agua de lluvia (en desuso).
- Agua de mar.

El vapor se produce en grandes recintos cerrados denominados calderas, cuyas paredes, pisos y techos se encuentran cubiertos por tubos llenos de agua (existe otro tipo de calderas). En el interior del recinto se quema algún combustible y el calor que se desprende hace hervir el agua en el interior de los tubos produciéndose el vapor, el cual, después de haber sido utilizado es condensado y regresado a la caldera.

El vapor puede ser empleado por su efecto calentador o por su energía motriz para generar energía. En las aplicaciones caloríficas la transferencia de calor puede lograrse por contacto directo del vapor con un fluido o con un objeto sólido. La mayor parte de las aplicaciones de calentamiento son llevadas a cabo en condensadores, calentadores de etapa, en intercambiadores de calor de proceso, rehervidores, evaporadores y calefactores. En la industria existe una gran variedad de equipo de proceso con chaquetas de vapor, incluyendo las marmitas en la industria alimentaria, los reactores en la industria química, los secadores de tambor rotario y los evaporadores. El uso más importante es en la potencia motriz, aunque

el vapor sea un elemento fundamental en los requerimientos del proceso, el vapor es convertido en energía al ser pasado por una turbina a alta presión. De una manera mas primitiva es usado para rociar y calentar una gran variedad de líquidos, desde productos alimenticios hasta agua de desechos. Es por estas razones que las técnicas de generación y uso del vapor sean componentes importantes de la ingeniería química.

El ensuciamiento de los tubos de una caldera, aumentan el consumo de combustible y elevan los costos de transferencia de calor. La pérdida de rendimiento producida por la suciedad de los tubos aumenta la frecuencia de intervención de motores, ventiladores y otros componentes del sistema de calentamiento que pueden traducirse en mayores costos de reparación y sustitución de partes, por tanto, el tratamiento del agua para la generación de vapor es una de las ramas mas elaboradas de la química del agua. La comprensión de los principios fundamentales de la química del agua es esencial para procurar y aumentar la eficiencia de las calderas y del equipo que usa vapor dentro del Sistema de Generación de Vapor.

La presión y el diseño de una caldera determinan la calidad del agua que se requiere para la producción de vapor, en relación a tratamientos de agua para calderas se ha estudiado ampliamente la aplicación de tratamientos químicos en contra de la corrosión e incrustación, sin embargo, estos se comportan exclusivamente como preventivos, esto significa que cuando una caldera se encuentra incrustada, estos productos evitarán que dicha incrustación continúe creciendo, pero la incrustación formada no sufrirá disminución alguna (en ocasiones tiende a aumentar cuando existen errores en la dosificación), por tanto la eliminación de las incrustaciones deberá realizarse manualmente o por medio de recirculación de ácidos teniendo este último sus riesgos correspondientes.

2.1. DESCRIPCIÓN DE LAS CALDERAS^{1,3}

La mayoría de las calderas tienen un diseño común normalmente en el fondo se encuentra la cámara de combustión o el horno donde es más económico introducir el quemador en forma de flama. El quemador es controlado automáticamente para pasar solamente el combustible necesario para mantener la presión de vapor deseada. La flama o calor es dirigido o distribuido a las superficies de calentamiento que normalmente son tubos, fluxes o serpentines. El calor es transmitido mediante los mecanismos conocidos de transferencia de

calor que son conducción, convección y radiación. En algunos diseños el agua fluye a través de los tubos o serpentines y el calor es aplicado por fuera de estos, este diseño es llamado “Calderas de tubos de agua”. En otros diseños de calderas los tubos están sumergidos en el agua y los gases de combustiones encuentran el interior de los tubos, estas son llamadas “Calderas de tubos de humo”. Si el agua es sujeta también a contacto con el humo o gases calientes mas de una vez, la caldera es de doble, triple o múltiples pasos.

Las variaciones en el diseño ocurren porque existen muchos factores implicados en la selección y operación de un generador de vapor; entre estos están la capacidad, los tipos de combustible disponible, el diseño del quemador, las condiciones de presión y temperatura, la calidad del agua de alimentación, las variaciones previstas en la carga y el espacio disponible para la instalación.

En las **calderas de tubos de humo** (Figura 2.1), los tubos se encuentran arreglados en un haz dentro de un tambor de agua. A medida que va cambiando el agua a vapor, sube a la parte superior del tambor de la caldera y sale a través de un cabezal de vapor desde donde el vapor es conducido por tuberías a los puntos de uso. El tamaño del tambor determina la capacidad de producción de vapor. En la parte superior del hogar mecánico se encuentra una chimenea de metal o de ladrillo, la cual conduce hacia fuera los productos de la combustión como gases. En el fondo de la caldera se encuentra una válvula de salida llamada “purga de fondo”. Por esta válvula salen del sistema la mayoría del polvo, lodos y otras sustancias no deseadas, que son purgadas de la caldera.

Las calderas de tubos de humo son unos generadores de vapor eficientes para los requerimientos de calor debajo de 150 000 lb/h (68 000 kg/h) y 150 psi (10 bars). Mayores presiones y mayores capacidades requieren placas y paredes de tubo mas gruesas en este diseño, así que las calderas de tubos de agua son mas económicas para las condiciones por encima de estos límites.

Existen dos ventajas principales por las cuales las calderas de tubos de agua son utilizadas en lugar de las de tubos de humo. Una de esas razones es que la capacidad alcanzada en las calderas de tubos de agua es mayor a las del otro tipo, la otra ventaja es que los tubos no están en contacto directo con el calor radiante del fuego.

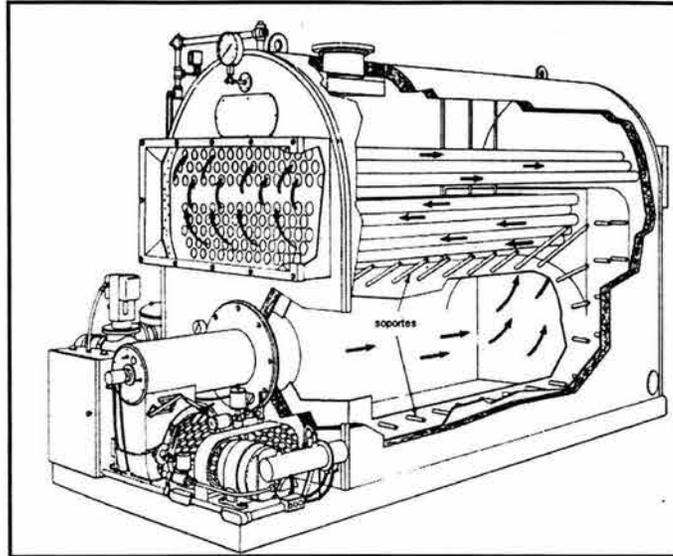


Figura 2.1 Caldera de tubos de humo.

En las **calderas de tubos de agua**, esta se reparte en un gran número de tubos de diámetro pequeño, sometidos exteriormente a la acción de los gases de combustión y por el interior de los cuales circula el agua. Las calderas de tubos de agua pueden tener tubos rectos dispuestos en bancos ligeramente inclinados de la horizontal o tubos curvos que van de domo a domo para formar la superficie de calefacción.

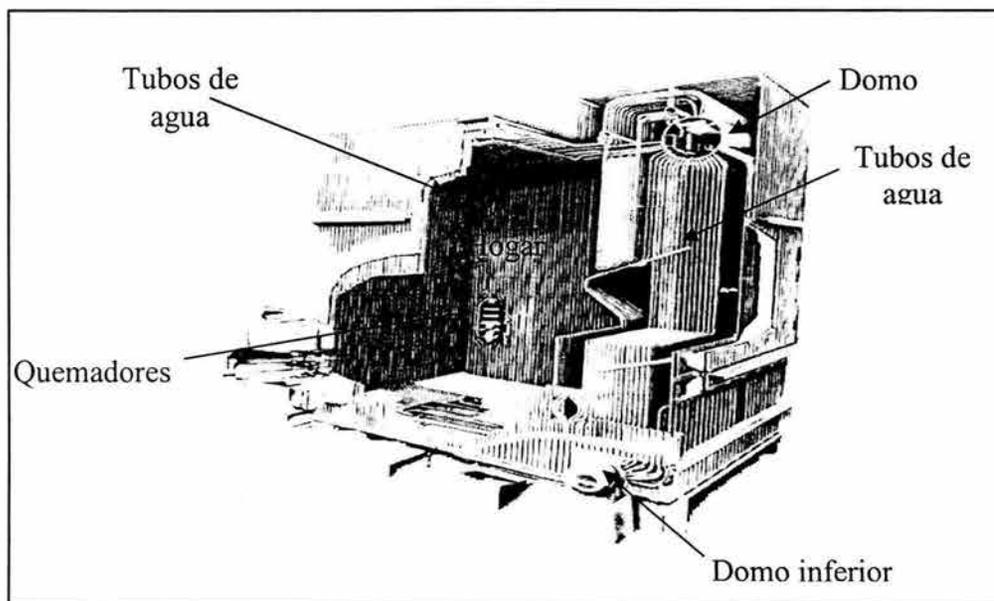


Figura 2.2. Caldera de Tubos de Agua.

Las calderas de tubos curvos permiten que una mayor superficie de calefacción este expuesta al calor radiante de la llama, debido a que todas las paredes del hogar están cubiertas de tubos por donde circula agua. En la Figura 2.2, se muestran los componentes básicos presentes en todas las calderas de circulación natural con independencia de los detalles del diseño de la caldera.

La circulación del agua dentro de la caldera es provocada por la diferencia de densidades entre el agua y el vapor, o bien por una bomba que proporcione la energía para el movimiento del líquido. En un circuito sencillo de tubos de agua se forman burbujas de vapor del lado calentado de los tubos. La mezcla vapor-agua resultante tiene una densidad inferior a la del agua más fría que esta en el lado no calentado y sube, de esta manera por la diferencia de peso específico dentro del circuito ocurre la circulación dentro de los tubos en los que las burbujas de vapor suben hasta el tambor de vapor, a este tipo de circulación se le denomina de “circulación natural” (Figura 2.3). Es común encontrar en las calderas de circulación natural un sistema de muchos circuitos paralelos. Las secciones de tubos en las que el agua calentada sube hasta el tambor se llaman montantes y aquellas en las que desciende el agua fría son los conductos de tubos descendentes. El tambor en la parte superior separa el vapor del agua, el vapor de lodo en el fondo separa los sólidos suspendidos y el lodo del agua (Figura 2.3).

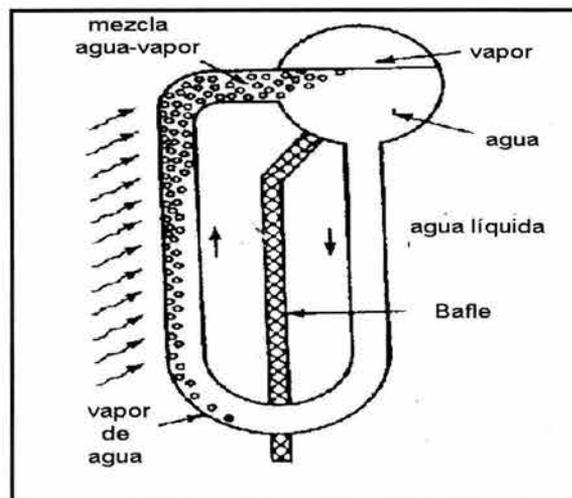


Figura 2.3. Circulación natural del agua en una caldera de tubos de agua.

Cuando se trabaja a altas presiones la diferencia de densidad entre el agua y el vapor disminuye. Si los requerimientos de espacio limitan la altura de una instalación de caldera, las diferencia de densidad para crear una circulación natural también se vuelve pequeña y la circulación debe ser entonces provocada mediante la instalación de una bomba que proporcione la circulación del agua, a este tipo se le llama **circulación forzada**.

El tiro del sistema regula el flujo de aire hacia el quemador, asegurando la cantidad de oxígeno para efectuar el proceso de combustión. El sistema de tiro forzado usa un ventilador para empujar aire hacia la cámara de combustión mientras que el sistema de tiro inducido usa un ventilador para extraer aire y gases de combustión del interior de la caldera. Una combinación de los dos sistemas citados anteriormente, es conocida como calderas de tiro balanceado, sistema que usa ambos ventiladores para regular el flujo de aire, y de esta manera, los gases de combustión entran al hogar de la caldera y se asegura que descarguen a la atmósfera. De los sistemas citados, se derivan los nombres de Hogar Balanceado equivalente a **Tiro Balanceado** y Hogar Presurizado que representa el sistema de **Tiro forzado**.

Actualmente los arreglos de tubos mas utilizados en las calderas de tubos de agua, son los diseños que se muestran en la Figura 2.4.

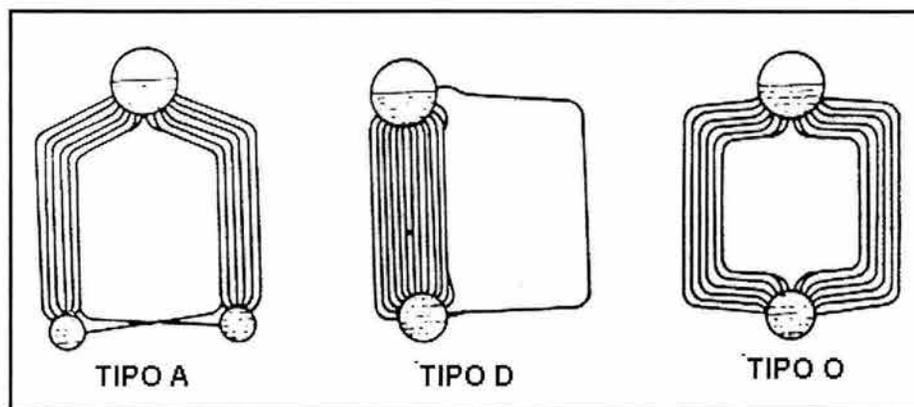


Figura 2.4. Arreglos de tubos.

El arreglo TIPO A consiste de un tambor de vapor y dos tambores de lodo o cabezales arreglados en un patrón A con el tambor de vapor en el vértice y los cabezales en el fondo. En este tipo de calderas el purgado se realiza en el fondo de los dos cabezales. En el arreglo de TIPO D el tambor de vapor se sitúa directamente arriba del tambor de lodo desviado un

poco hacia un lado en un patrón de D. En este arreglo una serie de tubos se sitúan verticalmente entre los dos tambores, otra parte de estos se extiende horizontalmente desde los tambores de vapor y de lodo hasta la pared del horno. El arreglo de TIPO O, en este arreglo los tambores de vapor y lodo se encuentran situados uno arriba del otro al igual que el arreglo de TIPO D, pero ambos se encuentran en el centro de la caldera. Los tubos forman un patrón de O como lo muestra la figura.

Es común utilizar una clasificación de las calderas referida a la presión a la cual operan, por lo que ésta se enlista a continuación^{3,5}:

Calderas de baja presión	hasta 200 psi	(14 bar)
Calderas de media presión	200-500 psi	(14-35 bar)
Calderas de alta presión	500-2000 psi	(35-138 bar)
Calderas de muy alta presión	2000-3209 psi	(138-221 bar)
Calderas supercríticas	arriba de 3209 psi	(221 bar)

TRATAMIENTO DEL AGUA DE CALDERAS

El agua que se introduce en la caldera, para ser convertida en vapor, recibe el nombre de agua de alimentación. Los contaminantes usuales del agua alimentada son normalmente trazas o cantidades mayores de sustancias mayores de sustancias inorgánicas, tales como calcio, magnesio y sílice, las cuales en la mayor parte deben ser eliminadas en el sistema de pretratamiento. Los contaminantes que regresan del condensado son usualmente hierro y cobre, procedentes de la corrosión de las tuberías y en menor cantidad sustancias orgánicas cuyo origen es debido al contacto del vapor en las unidades de proceso.

En el agua pueden existir gases disueltos, los cuales normalmente estarán en pequeñas cantidades y tendrán un origen atmosférico. De entre los que se encuentran en mayor cantidad y que afectarán de manera mas importante a la corrosión metálica son el oxígeno y el bióxido de carbono.

Las calderas necesitan pre-tratamiento externo en la alimentación del agua o “make-up” y retorno de condensados dependiendo del tipo de caldera, la presión de operación del sistema total y en algunos casos el tratamiento interno resulta necesario. El tratamiento depende del tipo de concentración de los contaminantes hallados en el abastecimiento de agua y de la calidad deseada del agua con el fin de evitar los tres principales problemas en los sistemas de calderas: incrustación, corrosión y arrastres.

3.1. SUSTANCIAS QUE FORMAN INCRUSTACIONES^{3,5}

Las incrustaciones se pueden formar sobre cualquier superficie de un equipo que tenga contacto con el agua, principalmente en los tubos de las calderas. Cada contaminante tiene una solubilidad definida en agua, y se precipitará cuando dicha solubilidad sea excedida. Si el agua esta en contacto con una superficie caliente y la solubilidad de los contaminantes es menor a mayores temperaturas, el precipitado se formará sobre la superficie, generando una incrustación. Los componentes más comunes depositados en las calderas son fosfato de calcio, carbonato de calcio (en las calderas de baja presión), hidróxido de magnesio, óxido de hierro en diferentes formas, sílice adsorbida en los precipitados antes mencionados y alúmina. Si se usan sales de fosfato en el tratamiento del agua de caldera, el calcio precipitará preferentemente como fosfato, antes de precipitar como carbonato y el fosfato de calcio se convertirá en la característica más importante del depósito.

Para altas temperaturas como a las que se encuentra el agua en una caldera, los depósitos constituyen un problema serio, ya que afectan la transmisión de calor y aumentan la posibilidad de la ruptura de los tubos de la misma. En las calderas de baja presión, con bajas tasas de transferencia de calor, pueden formarse depósitos hasta un punto tal que ocluyen totalmente los tubos de la caldera. A tasas mayores de transferencia de calor y en calderas de alta presión, el problema es más severo ya que en el intervalo de temperatura de 482 - 732 °C, el acero al carbón comienza a deteriorarse. Las temperaturas dentro del hogar de la caldera están muy por encima de este intervalo crítico. El agua que circula por los tubos, normalmente disipa el calor del metal, evitando que el tubo alcance este intervalo. Los depósitos aíslan el tubo y reducen la tasa a la que puede quitarse este calor, conllevando a un sobrecalentamiento del tubo y una ruptura del mismo. Si el depósito no es lo bastante grueso como para causar tal ruptura, puede ocasionar una pérdida importante en la transferencia de calor.

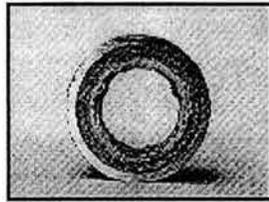


Figura 3.1. Problema de Incrustación en tuberías.

Cuando la presión de la caldera es superior a 250 psig las concentraciones de lodos son indeseables, por lo que deberá limitarse la dureza que pueda presentarse en el agua de caldera, además del magnesio y sílice que se pueda encontrar.

3.2. SUSTANCIAS CORROSIVAS^{3,5,15}

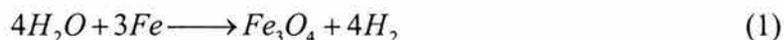
Las sustancias corrosivas se encuentran normalmente como soluciones ácidas o gases disueltos, tales como el dióxido de carbono, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno y amoníaco. El oxígeno y el dióxido de carbono se disuelven en el agua de alimentación por aereación y contacto inevitable con la atmósfera. El ejemplo más común es el ataque del acero por el oxígeno, este ataque puede ocurrir en cualquier porción del sistema en donde haya oxígeno presente (como lo es en las líneas de vapor y retorno de condensados).

Las consecuencias de la corrosión en el sistema son las siguientes:

1. Disminución de la resistencia mecánica a causa del adelgazamiento del metal y de las fisuras causadas.
2. Perforaciones del metal.
3. Contaminación del agua.
4. Disminución de la transferencia de calor.

Una alta presencia de alcalinidad puede resultar en un rompimiento de los bicarbonatos produciendo carbonatos y liberando CO₂ libre en el vapor, al ser el vapor altamente corrosivo llega a producir daños en las líneas de vapor y el retorno de condensados.

Un tipo de corrosión pero menos frecuente es el ataque alcalino llamado también fragilización cáustica, que generalmente ocurre en calderas de alta presión donde el cáustico puede concentrarse en un área local de formación de burbujas de vapor debido a la presencia de depósitos porosos. Aunque la eliminación del oxígeno del agua de alimentación de la caldera sea eficiente, la corrosión puede ocurrir a elevadas temperaturas por medio de la siguiente reacción:



Puesto que la reacción de corrosión produce hidrógeno, es útil un dispositivo para analizar el hidrógeno en el vapor, como un monitor de la corrosión.

Las calderas se dañan con frecuencia por la corrosión durante los periodos en que están fuera de servicio. Las calderas inactivas son muy vulnerables al ataque cuando el aire entra en contacto con las superficies metálicas húmedas. Para evitar esta corrosión, el metal debe protegerse ya sea manteniendo las superficies completamente secas o excluyendo el aire de la caldera llenándola con agua tratada en forma adecuada.

3.3. ARRASTRES^{3,5}

Los arrastres de vapor desde la caldera hacia el sistema de vapor, a menudo es consecuencia de un efecto mecánico, puede deberse a la volatilidad de ciertas sales del agua de la caldera, como la sílice y los compuestos de sodio o bien puede ser causado por el espumado. La materia insoluble que se encuentra en suspensión en el agua de la caldera y la

acumulación de estos a causa de la evaporación son los causantes del espumado, lo que ocasiona el arrastre de partículas hacia el vapor, los principales problemas del arrastre es el depósito que estos causan en las turbinas de vapor como en otras partes del sistema.

3.4. CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA DE CALDERA^{3,5}

El tipo de tratamiento aplicado al sistema de generación de vapor es dependiente de la calidad del agua de abastecimiento, de la presión de operación, de la calidad del los condensados (make-up) y como se había mencionado antes éste es único para cada sistema.

El muestreo del agua del sistema proporciona una descripción de la cantidad de contaminantes presentes en las corrientes ya sea de alimentación a la caldera o del interior de la caldera. Los resultados son comúnmente expresados en partes por millón (ppm), aunque el formato de la hoja de reporte puede ser variable. Independientemente del tipo de impureza presente el agua, hay tres formas definidas de identificarse; si la impureza es un sólido soluble esta puede encontrarse en solución con el agua, si es un sólido insoluble entonces este se encuentra en suspensión, si la naturaleza del contaminante es gaseosa, este se puede encontrar absorbido en el agua a tratar.

La presencia de las sustancias que se mencionan en la Tabla 1 en el agua de alimentación de la caldera provocan con el paso del tiempo una acumulación dentro de la caldera; en el circuito de la caldera existen límites de concentraciones de estos contaminantes sobre los cuales comenzarían a causar daños al sistema, para que estos límites se cumplan es necesario implementar el purgado que no es mas que la herramienta que permite alcanzar las máximas concentraciones permisibles para tener la mayor eficiencia en la caldera sin exceder las concentraciones que perjudicarían al sistema.

En la Tabla 2 se muestran los límites recomendados de contaminantes para el agua de alimentación a calderas en función de la presión a la que operan (de tubos de agua y tubos de humo). De igual manera en la Tabla 3 y 4 se presentan los límites recomendados para el control del agua de las calderas en función de la presión a la que operan y de acuerdo a su tipo, calderas de tubos de agua y calderas de tubos de humo.

III. TRATAMIENTO DEL AGUA DE CALDERAS

Tabla 1. Principales contaminantes del agua y el problema que ocasionan.^{3,5}

<u>IMPUREZA</u>	<u>REPRESENTACIÓN</u>	<u>EFEECTO</u>	<u>TRATAMIENTOS CORRECTORES</u>
Turbidez	NTU	Deposiciones en las líneas de agua, equipo y calderas.	Coagulación, sedimentación, filtración.
Color	Unidades de color	Puede generar espumas en las calderas. Obstaculiza los métodos de precipitación.	Coagulación, filtración, cloración, adsorción.
Dióxido de Carbono	CO ₂	Corrosión en las líneas de agua y particularmente las de vapor y los condensados	Deasereación, neutralización con bases y aminas.
Oxígeno	O ₂	Corrosión en las líneas de agua, equipos de intercambio de calor, calderas y circuitos de retorno de condensados.	Desaereación, sulfito sódico, inhibidores de la corrosión.
Sólidos suspendidos	TSS	Depósitos en líneas y equipos de vapor, taponan las líneas de circulación de los fluidos y arrastres	Filtración, coagulación, sedimentación.
Grasas		Depósitos, espumas y lodos en las calderas. Disminuye la transferencia de calor.	Separadores de grasas, coagulación y filtración.
pH	H ⁺	Disolución y precipitación de metales	Neutralización con ácidos y bases.
Dureza	Ca ²⁺ y Mg ²⁺ expresado como CaCO ₃	Principales causantes de las incrustaciones en los equipos.	Ablandamiento con cal y sosa, ósmosis inversa, intercambio iónico, tratamientos internos, agentes activos a las superficies.
Alcalinidad	CO ₃ ²⁻ , CO ₃ H ⁻ , OH ⁻ expresados como CaCO ₃ La conc. de OH ⁻ es aprox. 90% de la alcalinidad total	Espumas, arrastres en el vapor, desprendimiento de CO ₂ potencial fuerte de la corrosión y fragilidad en el acero.	Procesos de cal-sosa, acidificación, intercambio iónico, ósmosis inversa, electrodesionización, destilación.
Sólidos disueltos	TDS	Depósitos, espumas y arrastres en el vapor	Procesos de cal, intercambio iónico, ósmosis inversa, electrodesionización, destilación.
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	Añade sólidos al agua, con Ca ⁺⁺ forma incrustaciones de sulfato de calcio muy duras	Procesos de destilación, desmineralización.
Cloruros	Cl ⁻	Añade sólidos al agua y aumenta las características corrosivas del agua.	Procesos de destilación, desmineralización.
Sílice	SiO ₂	Genera incrustaciones en las calderas y circuitos de calor.	Adsorción, intercambio iónico, destilación.
Hierro	Fe ²⁺ , Fe ³⁺	Puede generar color y es fuente de precipitados y lodos en las líneas de agua y vapor.	Coagulación, filtración, intercambio iónico, agentes activos a las superficies.
Conductividad	mS	Resultado de los sólidos ionizables, la conductividad alta puede aumentar las características corrosivas del agua	Todo proceso que reduzca los sólidos disueltos. Proceso de cal-sosa, desmineralización.

III. TRATAMIENTO DEL AGUA DE CALDERAS

Tabla 2. Límites permisibles de contaminantes en el agua de alimentación a las calderas.⁵

CONTAMINANTE	PRESIÓN (psig)					
	150	300	600	900	1200	1500
Dureza (CaCO ₃)	< 20	< 10	0	0	0	0
Alcalinidad	Suficiente para obtener un pH=9 o más	Suficiente para obtener un pH=9				
Oxígeno ppm	0.14	0.07	0.03	-	-	-

Los límites convencionales recomendados para las calderas acuatubulares se muestran en la tabla 3, los límites permisibles de control aumentan al incrementarse la presión dentro de la caldera por lo que para algunos contaminantes su presencia deberá ser nula.

Tabla 3. Límites óptimos de control de calderas de tubos de agua.³

CONTAMINANTE	PRESIÓN (psig)					
	150	300	600	900	1200	1500
SDT(max)	4000	3500	3000	2000	500	300
Dureza(CaCO ₃)	< 20	< 10	0	0	0	0
Hidróxido(CaCO ₃)	300-400	250-300	150-200	120-150	100-120	80-100
Fosfato PO ₄ ⁻	30-60	30-60	20-40	15-20	10-15	5-10
Hidracina				0.04-0.06	0.04-0.06	0.04-0.06
Sulfito	30-60	30-40	20-30	15-20	10-15	5-10
Silice mg de SiO ₂	100	50	30	10	5	3
Hierro total	10	5	3	2	2	1
Oxígeno ppm	0.14	0.07	0.03	-	-	-

En el caso de las calderas de tubos de humo el agua es aproximadamente la mitad del volumen total de las calderas y la presión que esta puede llegar a alcanzar es mucho menor en comparación con las calderas de tubos de agua, esto trae como consecuencia mayor flexibilidad y menos precisión del control de los contaminantes, ver Tabla 4.

Tabla 4. Límites óptimos de control de calderas de tubos de humo.⁵

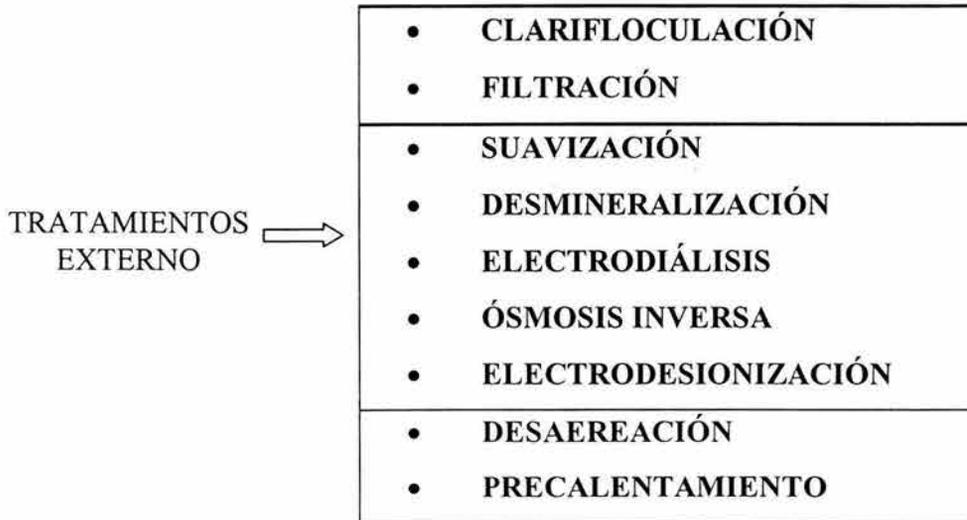
CONTAMINANTE	PRESIÓN (psig)			
	7	185	242	>242
SDT(max)	5000	4000	4000	3000
Dureza(CaCO ₃)	<5	<5	<5	<2
Hidróxido como (CaCO ₃)	1200	1000	800	600
Fosfatos en mg/l de P ₂ O ₅	40	35	30	25
Silice en mg de SiO ₂	250	200	150	100

3.5. TRATAMIENTO EXTERNO

El tratamiento externo se enfoca a las corrientes de agua de alimentación, reemplazo y condensados, principalmente busca eliminar o reducir la concentración de los contaminantes a continuación mencionados:

- ❑ Sólidos suspendidos
- ❑ Dureza
- ❑ Alcalinidad
- ❑ Sílice
- ❑ Sólidos disueltos
- ❑ Materia Orgánica
- ❑ Gases Disueltos

Los tratamientos externos más utilizados son los que a continuación se muestran y su utilización será condicionada por la calidad del agua disponible y de la calidad del agua requerida (la calidad está determinada por los contaminantes en la caldera).



3.5.1. CLARIFLOCULACIÓN

Este es usualmente el primer paso en el tratamiento externo del agua, la remoción de los sólidos suspendidos se logra por coagulación-floculación, filtración y precipitación, este tratamiento busca eliminar las sustancias tanto disueltas como en suspensión contenidas en las aguas naturales, sustancias que pueden ser orgánicas e inorgánicas.

La coagulación en el proceso de clarifloculación tiene por objeto agrupar a las partículas coloidales dispersas en el agua y formar conglomerados más voluminosos y pesados que puedan ser separados más fácilmente del agua, por simple precipitación, o bien por procesos de filtrado convencional. Esta neutralización suele realizarse añadiendo al agua coagulantes químicos con agitación, también llamado mezclado rápido. Las sustancias químicas de uso común en estas operaciones son ciertas sales de aluminio (alumbres) y algunas sales de hierro. Generalmente se aplica sulfato de aluminio, de forma que los cationes trivalentes de aluminio neutralizan las cargas eléctricas negativas localizadas en la superficie de las partículas coloidales dispersas en el agua, como se mencionó anteriormente.

Una vez alcanzada la neutralización eléctrica de la superficie de las partículas coloidales, proceso llamado “desestabilización coloidal”, las partículas están en disposición de aglomerarse y formar flóculos. Estos flóculos son inicialmente pequeños y es posible inducir el crecimiento de los mismos con ayuda de agentes floculantes, los cuales promueven la aglomeración y fortalecen mecánicamente al flóculo de forma que pueda resistir cierto nivel de turbulencia. Algunos ejemplos de agentes floculantes son la sílica activada, ciertos tipos de arcilla y los polielectrolitos. Esta aglomeración de las partículas descargadas, ayudada ahora por una agitación lenta, permite el crecimiento de los flóculos hasta alcanzar un tamaño tal que permita, en primera instancia la precipitación, o bien, la captura por medio de un tamiz en un filtrado convencional.

Además de las interacciones físicas entre los coagulantes y la superficie de las partículas coloidales, en el proceso de coagulación se presentan reacciones químicas paralelas entre las sales coagulantes y la alcalinidad, esto es bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e hidróxidos (OH^-) disueltos en el agua, esto para producir el hidróxido del metal ($\text{Al}(\text{OH})_3$). Este hidróxido presenta una solubilidad muy dependiente del pH, para el proceso resulta conveniente trabajar en condiciones tales que el hidróxido de aluminio sea lo menos soluble posible, esta condición está comprendida en el intervalo de pH de 5.5 a 7.5 para el hidróxido

de aluminio. En condiciones de un pH ácido se promueve la formación de las sales de aluminio poco afines a neutralizar la superficie de los coloides. En condiciones alcalinas el carácter anfótero del hidróxido de aluminio forma aluminatos que son complejos inorgánicos que ocasionan un impedimento estérico y el aluminio no puede alcanzar la superficie de la partícula coloidal. Es por esto que fuera de los límites señalados para el pH, la coagulación con sales de aluminio no tiene éxito.

3.5.1.1. Clarificador Circular

Un clarificador de éste tipo se diseña para remover del 50 al 70% de los sólidos suspendidos. Además, debe operar a máxima capacidad de llenado, porque el agua clarificada abandona el proceso por los canales que se encuentran dispuestos radialmente en la parte superior del tanque. La remoción de los lodos debe ser constante. El tiempo de retención es una variable definitiva y muy importante para la eficiencia de la remoción y se recomienda que esté comprendida en el intervalo por lo que se recomienda poner principal cuidado en la operación. Otro factor importante es el valor del flux volumétrico, que corresponde al flujo volumétrico normal por unidad de área en el tanque clarificador.

Una vez que los flóculos se formaron y aumentaron de tamaño entonces son mandados generalmente a un filtro de gravedad, en la Figura 3.2 se muestra un clarificador circular y el filtro de gravedad que opera junto con él.

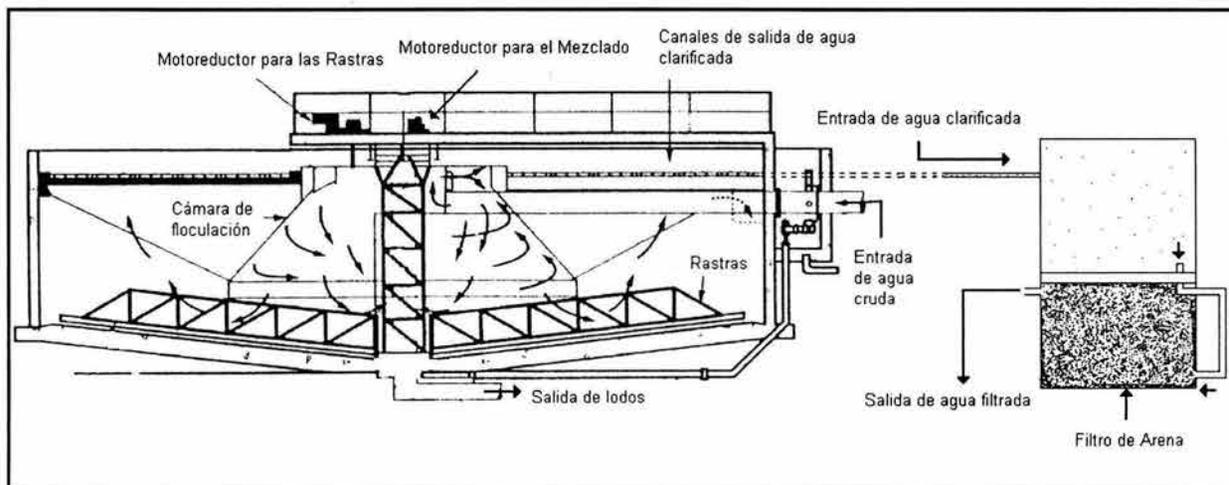
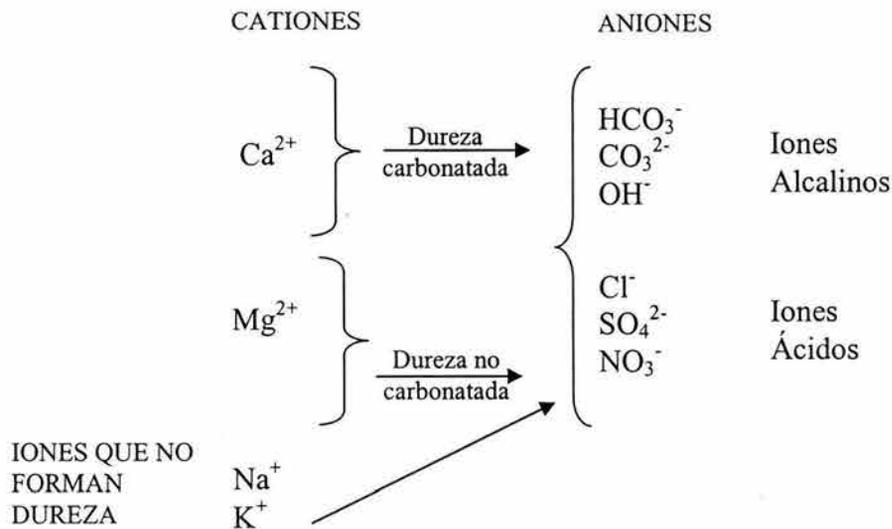


Figura 3.2. Sistema de pretratamiento de agua: clarificador y filtro de arena.

3.5.2. SUAVIZACIÓN^{5,16}

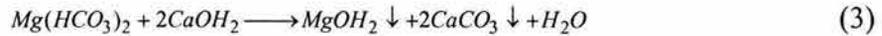
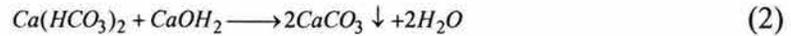
Para eliminar la dureza del agua es comúnmente empleado el método de suavización el cual consiste en agregar sustancias químicas para precipitar la mayor cantidad de sales de calcio y magnesio. Este proceso consiste en añadir Cal (CaOH)y Soda (Na₂CO₃) al agua dura. En algunos casos se añade también hidróxido de sodio. Las sales de calcio y magnesio mas comúnmente formadas se muestran a continuación:



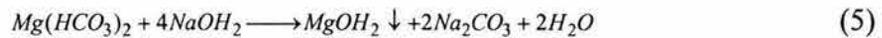
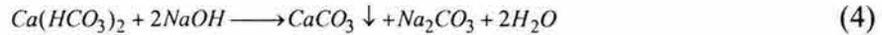
Este procedimiento ofrece una reducción de la dureza del agua de 5-30 ppm como CaCO₃, dependiendo de la temperatura a la que se lleva a cabo el proceso. Cuando al tratamiento con cal y soda se le agrega un programa de fosfatos esta dureza se reduce a 0.2-5 ppm como CaCO₃. Este proceso puede ser aplicado tanto en frío como en caliente, el proceso frío no es tan efectivo para agua con una cantidad de 100-150 ppm de dureza como CaCO₃, por lo que resulta más conveniente aplicarlo a aquellos tipos de agua con una menor cantidad de dureza (menos de 50 ppm como CaCO₃). A pesar de que la suavización con cal y soda no reduce totalmente la dureza del agua este es uno de los métodos más utilizados y de los más económicos.

La eliminación de la dureza por sustancias alcalinas puede realizarse mediante la adición de cal y rara vez de hidróxido de sodio. Las reacciones se muestran a continuación:

- Tratamiento con cal:



- Tratamiento con hidróxido de sodio:



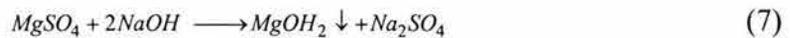
Mediante el tratamiento con cal, las sales formadas son escasamente solubles por lo que se provoca una disminución de los sólidos disueltos totales en el agua. Esto mismo no sucede con el uso del hidróxido de sodio debido a la formación del carbonato de sodio.

Las sales de magnesio con iones ácidos es eliminada por cal y por hidróxido de sodio de acuerdo a las siguientes reacciones:

- Tratamiento con cal:

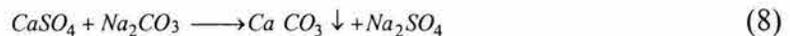


- Tratamiento con hidróxido de sodio:



La eliminación de sales de calcio con iones no alcalinos se llevan a cabo mediante las siguientes reacciones:

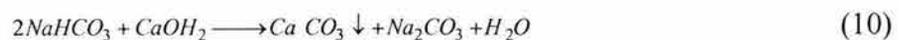
- Tratamiento con carbonato de sodio:



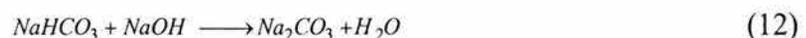
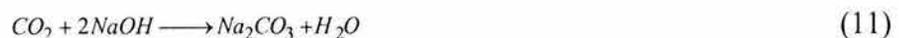
Al utilizar hidróxido de sodio para remover la dureza por aniones alcalinos el carbonato de sodio formado puede ser suficiente para eliminar la dureza no alcalina del calcio.

Cuando se encuentra CO_2 y $NaHCO_3$ en el agua a tratar es necesario añadir una cantidad equivalente de Cal o de NaOH para obtener las siguientes reacciones:

- Tratamiento con cal:



- Tratamiento con hidróxido de sodio:



Como se ha mencionado la suavización con cal puede realizarse en frío o caliente, la utilización de cal caliente se realiza comúnmente en el intervalo de 50-90°C, aunque existen plantas en las que se trabaja de 100-115°C, este tratamiento es en su mayoría usado para el acondicionamiento del agua de alimentación a calderas de baja presión, este procedimiento toma ventaja de los otros debido a que puede lograr reducir la dureza hasta 5-15 ppm.

La utilización de cal fría puede ser usada de dos maneras: parcial o completa. El modo completo proporciona un agua de tal calidad que puede ser usada en calderas de baja presión y en algunos casos de media presión. La dureza residual que se obtiene de este proceso ese encuentra en el intervalo de 15-30 ppm como CaCO_3 . Agua suavizada mediante este método es recomendada para ser utilizada como agua de repuesto en sistemas de enfriamiento.

En el tratamiento parcial se elimina solo la dureza alcalina, incluso este término es usado cuando se elimina una pequeña parte de la dureza no alcalina, es usado principalmente en el tratamiento de aguas para propósitos municipales, aunque también puede ser de utilidad en sistemas de enfriamiento. Las concentraciones que se obtienen de dureza están por encima de los obtenidos en un tratamiento con cal completo.

Existe también un proceso de suavización que consiste en tratar el agua caliente alcalina provenientes de un suavizador con cal y soda, con fosfato mono-, di- o tri-sódico o con ácido orto-fosfórico, el tipo de fosfato usado depende de la alcalinidad deseada en el agua suavizada. El fosfato trisódico es la forma mas comúnmente usada.

La remoción parcial de sílice (a menudo cerca de la mitad de la cantidad total presente), es a menudo efectuada durante la suavización ordinaria con cal y soda. El contenido de sílice puede ser reducido hasta cerca de dos ppm, incluso cantidades menores, mediante el tratamiento del agua con hidróxido de magnesio, hidróxido de aluminio o hidróxido férrico.

3.5.2.1. Suavizador por lotes (Batch)^{5,16}

El suavizador de tipo Batch está constituido por tanque de tamaño suficiente en donde se pueda llevar a cabo la reacción, un tanque pequeño en el cual los químicos y el agua son mezclados y desde donde se alimentan al tanque principal. El mezclado puede ser mediante una corriente de vapor, o bien por agitación, en algunos casos estos suavizadores cuentan con tubos perforados en la parte inferior del tanque principal por donde los lodos son removidos.

Un suavizador por lotes es usado principalmente para el tratamiento con cal fría, pero también puede ser usado en el tratamiento con cal caliente (Figura 3.3).

3.5.2.2. Suavizadores por sedimentación en frío (continuo).^{5,16}

Este tipo de suavizador en frío puede ser tanto horizontal como vertical, aunque los horizontales son muy rara vez utilizados, esto a pesar de que la instalación de un suavizador vertical requiere de mayor espacio para su instalación. En ambos tipos, los químicos son diluidos con agua antes de su adición, esta mezcla se realiza en un tanque desde donde se regula la velocidad de dosificación.

En las plantas de tipo vertical los químicos y el agua pasan juntos hacia el fondo del suavizador a través de un tubo situado comúnmente en la parte central del suavizador. En este tubo los químicos son mezclados completamente con el agua dura para que aquí mismo se lleven a cabo las reacciones. Después de que ocurren las reacciones es dentro del mismo tubo donde se produce el precipitado, este tubo debe de ser diseñado de tal manera que el tiempo de retención no sea menor a 15 min. El agua que sale del tubo sube después hacia el anillo formado por las paredes del tanque y el tubo central, las dimensiones del anillo serán tales que proporcionen una velocidad del agua de 5 ft/h, velocidad a la que el precipitado puede formarse satisfactoriamente. Es conveniente mantener una zona de lodos a una corta distancia del tubo por encima del fondo para asegurar que el agua que sale de éste pase a través de los lodos. La mayoría de este tipo de equipos son diseñados para un tiempo de retención de al menos 3 horas para lograr la precipitación. El agua suavizada mediante este procedimiento es rara vez lo suficientemente clara, por lo que debe ser sometida a un filtrado, en algunos casos el filtro se encuentra en el mismo suavizador, aunque es común también encontrar filtros a presión a la salida del suavizador.

3.5.2.3. Suavizadores de lodos en suspensión en frío (continuo).^{5,16}

En este tipo de equipo para suavizado en frío el agua cruda es mezclada completamente con los agentes suavizantes en la cámara central del equipo desde donde el flujo pasa hacia la zona de lodos, razón por la cual recibe el nombre de suavizador de lodos en suspensión. La velocidad del flujo es de aproximadamente de 20 ft/h, es necesario mantener la zona de lodos en suspensión mediante agitación mecánica y regulando el flujo del agua. Por la parte

superior de la zona de lodos el agua clarificada sale desde donde puede ser enviada a un filtro prensa para su tratamiento.

También puede ser empleado para suavizar agua a altas temperaturas, en algunas ocasiones operando bajo presión.

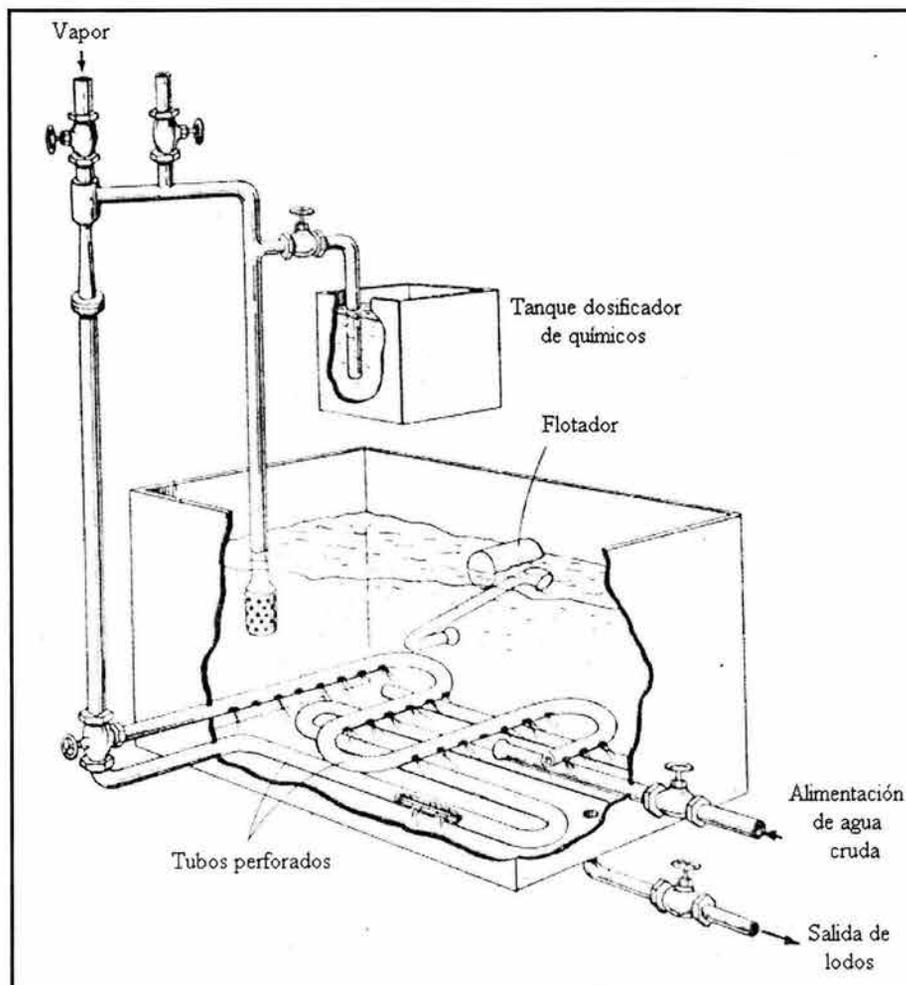


Figura 3.3. Suavizador por lotes (Batch).

3.5.2.4. Suavizador por sedimentación en caliente (continuo).^{5,16}

En este tipo de suavizador el agua dura que entra al equipo es previamente calentada, la temperatura del agua raramente excede los 70°C, el agua es alimentada lentamente para evitar perturbaciones en el proceso de sedimentación y cambios en el tiempo de retención del suavizador o bien del equipo.

Existe otro tipo de suavizadores en el que el agua que entra es rociada a través de un chorro de vapor en la parte superior del tanque, es a esta misma altura donde se dosifican los

químicos se lleva a cabo la reacción. Después el flujo de agua pasa hacia la parte inferior del equipo para después pasar por un desaereador colocado a la altura de la entrada del agua cruda para obtener agua suavizada y deaerada que después se envía a los filtros para su tratamiento. Usualmente este tipo de suavizador opera a presiones de aproximadamente 5 psi, y temperaturas de 100°C, aunque también existen suavizadores de mayor presión y temperatura. El tiempo de retención es de aproximadamente 1 h y la velocidad de la corriente del agua descendiente es de 20 ft/h (ver Figura 3.4).

3.5.2.5. Suavizadores con fosfatos.^{5,16}

A el suavizador por sedimentación para cal es usual que se le añada una cámara en la cual el fosfato y el agua de entrada son mezclados, el tiempo de retención es generalmente e una hora, aunque este pudiera ser menor.

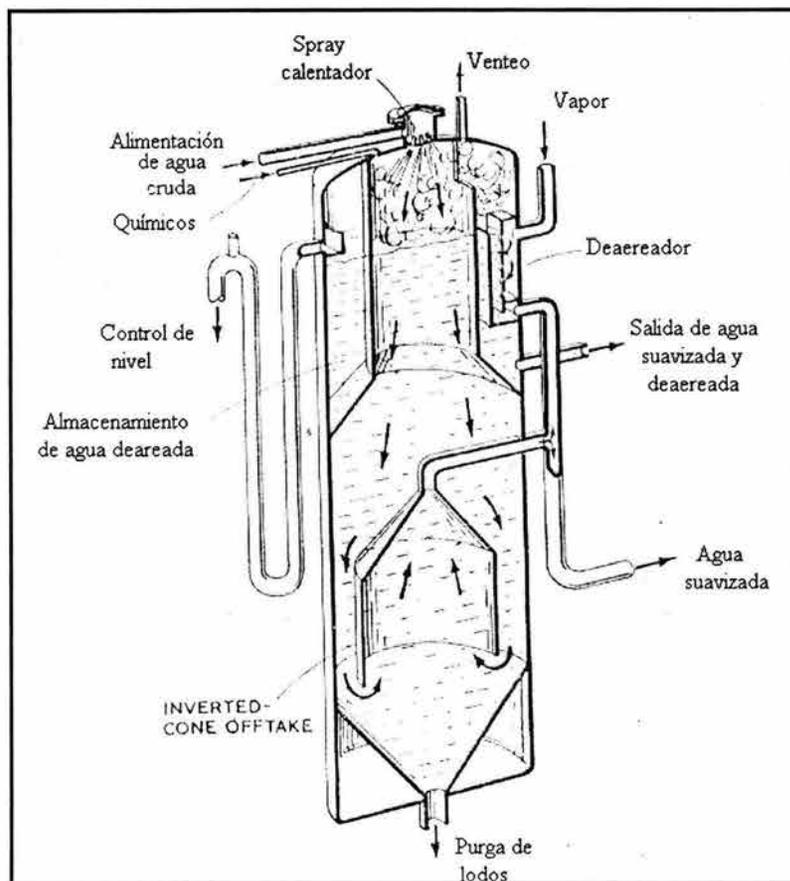


Figura 3.4. Suavizador a presión con precalentador y desaereador incluidos.

3.5.3. UNIDADES DE INTERCAMBIO IÓNICO^{6,7,16}

El agua pasa por una resina de intercambio catiónico donde quedan retenidos los cationes y se incorporan al agua iones H^+ (hidronio); lo anterior se representa de forma esquemática en la Figura 3.5. Posteriormente pasa por una resina de intercambio aniónico donde se sustituyen los aniones por iones hidroxilo (Figura 3.6). A esta etapa en la que el intercambio iónico es producido se le llama agotamiento, esto es por que la capacidad de la resina para intercambiar OH^- o H^+ se agota a medida que el agua pasa a través de ésta.

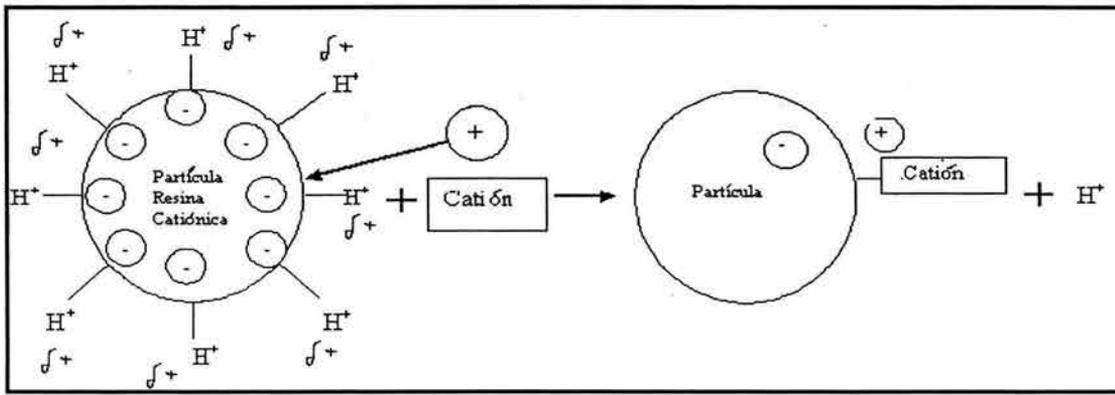


Figura 3.5. Esquema del intercambio catiónico.

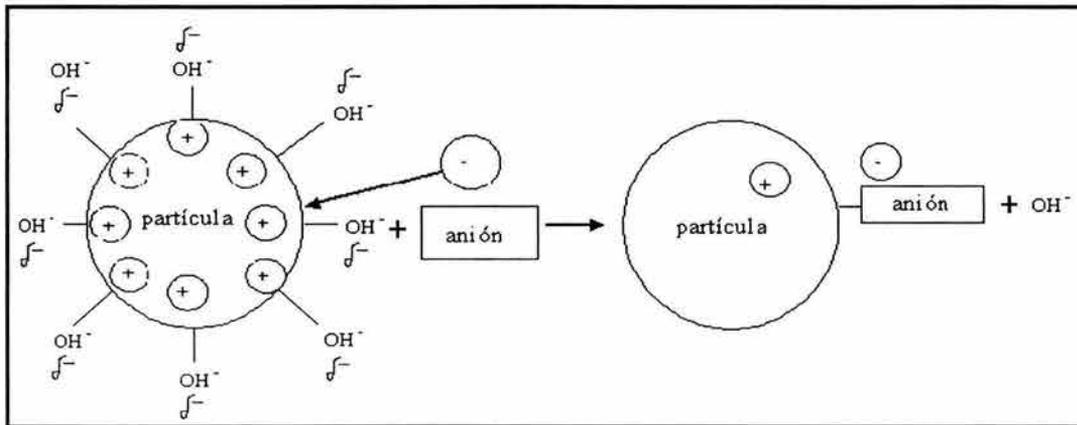


Figura 3.6. Esquema del intercambio aniónico.

De esta manera se eliminan del agua los cationes y los aniones, y en su lugar los iones H^+ y OH^- (hidroxilo) siguen el siguiente esquema de reacción:



Continuando con el proceso, se lleva a cabo la regeneración, que consiste en pasar a través del lecho conformado por la resina, una sustancia química que devuelva los iones H^+ a la resina catiónica y los hidroxilo a la aniónica. Comúnmente se utilizan el ácido sulfúrico y el hidróxido de sodio para efectuar la regeneración de las resinas catiónica y aniónica, respectivamente.

La regeneración en ambos tipos de unidades, se lleva a cabo en cuatro importantes etapas, las cuales se describen a continuación:

- a) Retrolavado
- b) Inyección de regenerante
- c) Desplazamiento
- d) Enjuague

Cada una de las etapas de la regeneración requiere la utilización de agua, en la primer etapa o retrolavado, agua es alimentada a la unidad con el objetivo de levantar la cama de la resina utilizada, posteriormente se procede a la inyección del regenerante (ácido o sosa, según la unidad), el retrolavado asegura un mayor contacto del regenerante con la cama de la resina. El desplazamiento se realiza alimentando agua para eliminar los cationes o aniones removidos de la resina, para finalmente realizar el enjuague para finalizar el proceso de regeneración.

Para llevar a cabo el intercambio catiónico es comúnmente usada la resina sulfónica de tipo Amberlita IR-120 (Figura 3.7).

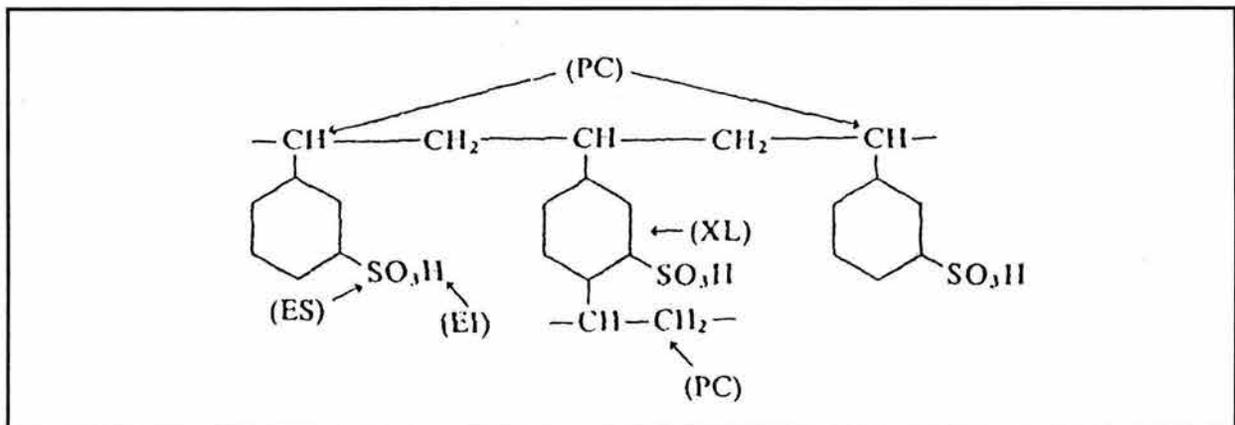
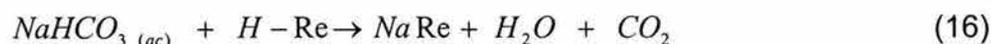
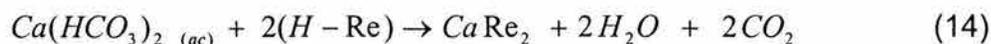


Figura 3.7. Composición de la resina catiónica Amberlita IR-120.

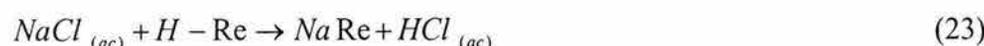
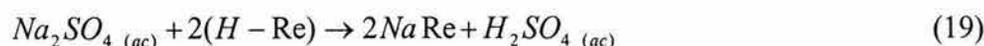
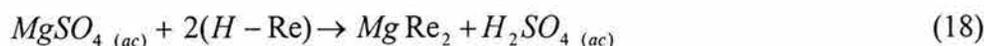
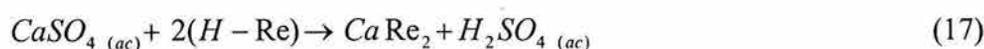
En el intercambio catiónico se llevan a cabo las siguientes reacciones:

Reacciones con bicarbonatos



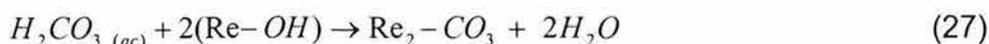
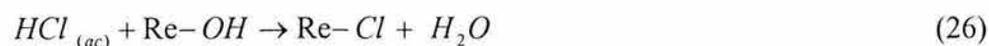
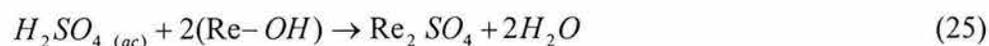
Los iones de calcio, sodio o magnesio que se encuentran presentes en la corriente de entrada a la unidad catiónica, son intercambiados por iones hidrógeno H^+ fijados en la resina, dando como resultado la formación de agua y bióxido de carbono y así mismo los iones de tipo Ca^{2+} , Mg^{2+} y/o Na^{1+} quedan fijados en la resina.

- Reacciones con sulfatos y cloruros:



Las resinas de intercambio iónico por lo general tienen una mayor selectividad hacia los iones de mayor valencia o carga. Entre los iones con una misma carga, la selectividad aumenta hacia las especies con un número atómico mayor. En la Tabla 5 se muestra el orden de selectividad de la resina tipo ácido fuerte por los cationes.

- En el proceso de la unidad aniónica, se llevan a cabo las siguientes reacciones:



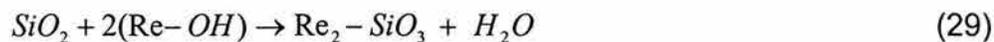
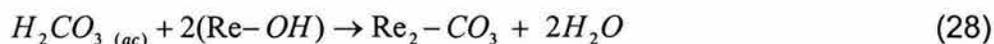


Tabla 5. Orden de selectividad típica de una resina sulfónica ácido fuerte.⁷

Ion	Valencia
Bario	+2
Estroncio	+2
Calcio	+2
Magnesio	+2
Berilio	+2
Plata	+2
Talio	+1
Cesio	+1
Rubidio	+1
Amonio	+1
Potasio	+1
Sodio	+1
Hidrógeno	+1
Litio	+1

Para realizar el intercambio iónico se utilizan materiales para el intercambio catiónico y materiales para el intercambio aniónico, de los que en la actualidad existe una gran variedad, a continuación se describen los más utilizados y la forma en que realizan el intercambio iónico.

El cálculo de la capacidad de la resina, y la selección del nivel del regenerante se detalla en una memoria de cálculo en el Apéndice I.

3.5.3.1. Materiales Inorgánicos para el intercambio catiónico⁵

Estos son minerales de sílice mejor conocidos zeolitas, el uso de este material es único en su clase, las zeolitas sintéticas son usadas también para este tratamiento, por lo que a continuación se mencionan más a detalle.

- **Zeolitas⁵**

Se conocen por zeolitas naturales (Na₂Z) a los silicatos de sodio y aluminio, bien sean naturales o artificiales. Su forma general es Na₂O.Al₂O₃.SiO₂. Esta sustancia tiene la

propiedad de absorber el calcio y magnesio que atraviesan debido a que las bases son permutables. De esta manera en el proceso de ablandamiento el sodio de la zeolita pasa a la solución en forma de carbonato, sulfato o cloruro, debido a que el calcio y magnesio del agua son absorbidos por la zeolita. El tratamiento con zeolita produce aguas con contenidos muy bajos de calcio y magnesio. Cuando la zeolita se vuelva inerte se regenera mediante un lavado con salmuera (NaCl) para restituir el sodio por intercambio. En soluciones alcalinas estas pueden perder sílice de su estructura, por esta razón se debe usar solo cuando el pH está en un intervalo de 6-8. Estas no deben ser usadas a temperaturas arriba de 30°C.

El hierro suspendido, aluminio y magnesio pueden depositarse en el material y su eliminación puede ser muy difícil sin dañar la zeolita, por lo que estos deben ser filtrados antes del tratamiento por este método. Los microorganismos en el agua pueden reducir la eficiencia y capacidad de la zeolita por lo que antes de retrolavado es necesario un baño del material en una solución de hipoclorito de sodio. Las zeolitas naturales están indicadas para tratar agua fría exenta de ácidos y se utilizan con éxito en ciertos casos, pero en muchos otros han sido desplazados por productos resinosos especiales (zeolitas artificiales), fabricados para la suavización de agua. Estos productos pueden soportar altas temperaturas, ácidos y álcalis y en determinadas condiciones pueden cambiar los aniones y cationes de las impurezas contenidas en el agua. En cualquier caso el agua a tratar mediante este proceso debe estar libre de materia orgánica y lodos los cuales recubren y tapan las partículas de los materiales empleados para la suavización haciéndolos menos eficientes.

3.5.3.2. Materiales orgánicos para el intercambio catiónico

- **Materiales Naturales⁵**

Estos puede obtenerse de carbón, ligninas y otros materiales orgánicos naturales mediante su tratamiento con ácido sulfúrico. Este material para intercambio catiónico es resistente al ácido por lo tanto puede ser usado como intercambiador de hidrógeno. A pH arriba de 8.0 los materiales empiezan a disolverse debido a que la solubilidad incrementa proporcionalmente al aumento del pH. Para algunos de los materiales a base de carbón la temperatura máxima recomendada es de 95°C cuando es usada para intercambio iónico de hidrógeno, cuando se usa para intercambio de bases la temperatura no deberá exceder de 30°C.

- **Materiales sintéticos**^{5,16}

Los intercambiadores catiónicos sintéticos son resinas, estas pueden ser obtenidas por condensación o por polimerización, mismas que son tratadas para conferirles las propiedades de intercambio iónico que presentan. De las resinas mas comunes obtenidas por condensación es la resina de sulfonadas de fenol-formaldehído. Las resinas obtenidas de polimerizaciones son aquellas a base de poliestireno, aunque también existen a base de ácidos de poliacrílico.

Las resinas sulfonadas de fenol-formaldehído son similares a los materiales hechos de carbón. Estas son resistentes al ácido y pueden ser usadas como intercambiadores de iones hidrógeno aunque este tipo de resinas son fácilmente atacadas por álcalis y por cloro. Muchas de ellas pueden ser usadas a temperaturas arriba de 95°C, aparentemente presentan buena resistencia mecánica al desgaste y su capacidad puede disminuir por ensuciamiento de materias orgánicas.

Las resinas sulfonadas de poliestireno pueden ser usadas tanto en soluciones alcalinas o ácidas a temperaturas arriba de 95°C como mínimo y en soluciones neutras arriba de 110-120°C aproximadamente. Está comprobado que a temperaturas altas el oxígeno y el cloro pueden deteriorar la resina por lo que deberán ser removidas del agua antes del tratamiento a estas temperaturas. Estas resinas son muy resistentes al desgaste mecánico.

En ambos tipos de resinas el carácter de intercambiador catiónico es proveído por el grupo sulfónico, las que son hechas de ácido poliacrílicos adquieren esta propiedad del grupo carboxílico. El tipo de resinas sulfonadas puede ser usada para cualquier tipo de intercambio catiónico, la capacidad de intercambio no es afectada por el valor del pH de la solución a tratar y la tasa de intercambio es rápida. La capacidad de las resinas de tipo sulfónico solo se ve afectada por un aumento en el flujo y por cambios en la concentración de las sales disueltas del agua a tratar. La regeneración se realiza con ácidos.

Las resinas de intercambiadores carboxílicos presentan una marcada selectividad por los iones divalentes al igual que por los iones de hidrógeno. Estas pueden ser usadas en su forma de sodio para la suavización de agua que contenga grandes cantidades de sales de sodio debido a la selectividad hacia el calcio y el magnesio, pero de igual manera la regeneración con salmuera presenta una eficiencia muy baja. El intercambio con hidrógeno puede liberar ácidos de las sales de un ácido débil como un bicarbonato, pero no de un ácido fuerte como

de un cloruro o sulfato. Por este proceso la alcalinidad del agua puede ser reducida. Las sales de intercambiadores carboxílicos son regenerados en muy poco tiempo con ácidos, cosa que no sucede con las resinas sulfónicas, esto puede resultar una desventaja por que si se extiende este tiempo se puede llegar a la hidrólisis. En contraste con los intercambiadores sulfónicos su capacidad decrece marcadamente con el aumento del flujo y con el decrecimiento de la concentración de las sales disueltas en el agua de alimentación. Esta capacidad también depende por supuesto del nivel de regeneración.

3.5.3.3. Materiales para el intercambio aniónico⁵

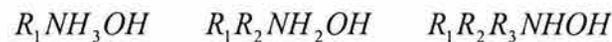
Los intercambiadores aniónicos son en su mayoría resinas orgánicas sintéticas, generalmente de fenol-formaldehído o de poliestireno, en los que el carácter de intercambio se produce por la inclusión de fuertes grupos básicos.

- **Bases débiles⁵**

Las intercambiadores aniónicos de bases débiles contienen grupos aminos primarios, secundarios y terciarios sustituidos por grupos alifáticos aromáticos:



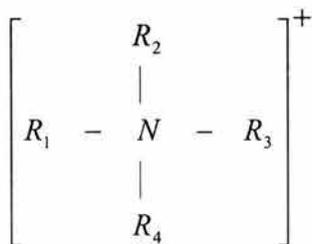
Cuando estas sustancias están en agua forman los siguientes compuestos;



Estos materiales son empleados en el proceso de desmineralización en donde los ácidos fuertes producidos por el tratamiento con intercambiadores de hidrógeno son removidos. Estos no pueden ser usados para remover dióxido de carbono disuelto ni sílice del agua. Su capacidad decrece con el incremento del pH y este tipo de resina es regenerado con bases débiles como carbonato de sodio y hidróxido de amonio. Las sales de las bases débiles pueden ser hidrolizadas debido a baños prolongados.

• **Bases fuertes**^{5,16}

Esta característica es conferida a las resinas con un grupo amonio cuaternaria en su estructura.



Las resinas que contienen este grupo son bases fuertes comparadas con las mencionadas anteriormente, estas pueden ser usadas para remover tanto ácidos fuertes como ácido clorhídrico y sulfúrico como ácidos débiles además de carbono disuelto y sílice. Este tipo de resinas se divide en dos clases usualmente llamadas Tipo I y Tipo II, esto de acuerdo a la naturaleza de los grupos unidos al átomo de nitrógeno, en las resinas de Tipo I los sustituyentes son grupos alquilo, en el Tipo II en estos al menos uno o mas grupos son remplazados por un grupo alcohol, por ejemplo el hidroxil-etil. Las resinas del Tipo I son una base más fuerte y presentan mayor estabilidad del grupo hidroxilo a temperaturas en el intervalo de 40-60°C, por su mayor basicidad este tipo de resinas deberían ser mas efectivas en la remoción de aniones, pero esta misma característica las hace más difícil de regenerar. En ambos tipos se requiere de sosa cáustica para su regeneración y después deberá ser enjuagada para eliminar el exceso con agua libre de dióxido de carbono para prevenir la disminución de la capacidad de intercambio.

En ambos tipos de resinas existe la posibilidad de degradarse a grupos ternarios, lo que disminuiría su capacidad y eficiencia. El Tipo II es mas resistente a este tipo de cambio. A parte de esta descomposición el oxígeno disuelto y la materia orgánica producen deterioros en ambas resinas.

3.5.3.4.Desgasificadores⁵

Para reducir el CO₂ del agua y evitar el deterioro de las resinas es común la instalación de desgasificadores para tratar el bióxido de carbono disuelto en el agua. Un desgasificador típico consiste en una torre empacada en donde aire es en contracorriente con el flujo de agua. Un desgasificador de este tipo puede reducir el CO₂ del agua desmineralizada hasta aproximadamente 2-5 ppm.

La reacción que representa la formación de ácido carbónico es la siguiente:



Otra razón de importancia es que el bióxido de carbono gaseoso se remueve con la finalidad de que al mezclarse con el agua se evite la formación de ácido carbónico, el cual resulta altamente corrosivo para las tuberías.

3.5.3.5. Intercambio básico^{5,16}

En el intercambio básico el agua se alimenta por la parte superior del equipo a través de la cama de intercambio catiónico de sodio para que el calcio y el magnesio del agua reaccionen con el material y se depositen en éste, la alimentación es detenida cuando la dureza residual del agua tratada toma algún valor específico o cuando una cantidad específica de agua ha sido alimentada, para posteriormente proceder al retrolavado, el agua de retrolavado es enviado al drenaje. La regeneración del material se hace con salmuera y usualmente esta es inyectada por la parte superior del intercambiador, en esta etapa los iones de sodio remplazan los iones de calcio y magnesio depositados en el material de intercambio catiónico. Después de la regeneración se realiza el enjuague para eliminar el exceso de salmuera, la cantidad de agua necesaria puede ser calculada de acuerdo a la dureza del agua del enjuague que abandona la unidad, la medición de la conductividad puede ser usada para la obtención de la calidad del agua.

La remoción total de los iones que causan la dureza del agua mediante éste método es imposible principalmente por que la reacción de intercambio es reversible, pero la dureza alcanzada por el intercambio en promedio es menor a 5 ppm como $CaCO_3$. Después de este tratamiento la cantidad de SDT es mayor que el agua antes de entrar a la unidad, esto debido a que el peso equivalente del Na es mayor al Ca y Mg, el tratamiento por intercambio básico no afecta la alcalinidad, el contenido de sílice y el dióxido de carbono libre, el agua suavizada es a menudo más corrosiva que el agua original esta característica se debe principalmente a la ausencia del bicarbonato de calcio que es capaz de formar una capa protectora de carbonato de calcio en la superficie metálica que evita el contacto con el agua y de esta manera protege el acero contra la corrosión.

Este tipo de proceso es usado para tratar agua de alimentación a calderas y es aplicable a corrientes de agua que contengan bajo contenido de dureza, menos de 100 ppm.

Es necesario la aplicación de otro método de tratamiento si se desea alcanzar una alcalinidad deseada.

3.5.3.6.Desmineralización sin remoción de sílice⁵

En este proceso el arreglo es de dos etapas en el cual el agua es alimentada en un principio por una unida de intercambio catiónico(H^+), para después ser enviado a la unidad aniónica para el intercambio de (OH^-). En este arreglo las dos unidades van seguidas de un desgasificador para eliminar el dióxido de carbono remanente.

3.5.3.7.Desmineralización con remoción de sílice⁵

Cuando el agua desmineralizada sirve de alimentación a calderas de alta presión es necesario reducir la concentración de sílice a los niveles más bajos. Esto se logra haciendo pasar el agua dura a través de un intercambiador de hidrógeno después a un intercambiador de bases débiles y un desgasificador para después por último entrar a una unidad aniónica de bases fuertes, esto con el objeto de que los aniones de los ácidos fuertes y el dióxido de carbono sean eliminados antes de entrar a la última unidad, y entonces esta se encargue solamente de remover el sílice presente (Ver Figura 3.8).

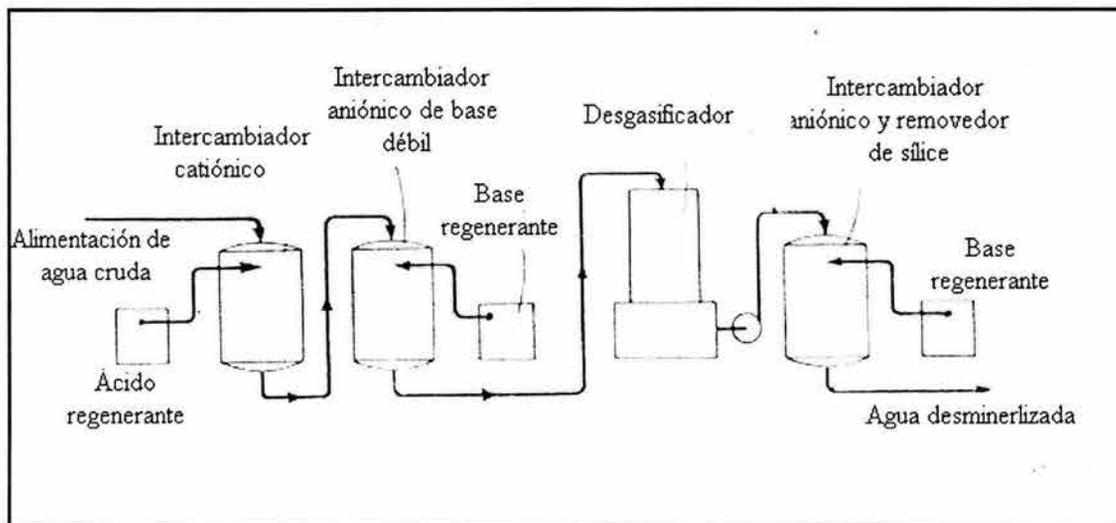


Figura 3.8. Proceso de desmineralización con remoción de sílice.

3.5.3.8.Desmineralizadores de lecho mixto^{5,16}

Mediante los procesos de intercambio iónico pueden alcanzarse valores muy bajos de conductividad eléctrica (1 ppm de sólidos es equivalente a 2 micro-ohm/cm), sin embargo esto puede tener altos costos de operación. Este mismo efecto puede obtenerse a menor precio haciendo pasar el agua a través de una cama hecha de una mezcla de intercambiadores catiónicos(hidrógeno) y aniónicos haciéndola de un proceso en serie de intercambiadores iónicos. Para lograr efectuar los procesos de regeneración son usados materiales de diferentes densidades para que estos puedan ser separados por métodos hidráulicos. La sílice presente puede eliminarse si el material aniónico usado es una base fuerte. El agua es alimentada al sistema hasta que se alcance cierto límite de conductividad a la salida del intercambiador, cuando el límite establecido sea alcanzado se realiza la regeneración de la cama, el retrolavado se debe realizar cuidadosamente de manera que permita la separación de los dos componentes, la parte de menor densidad es el material para el intercambio aniónico que forma la capa superior. En un método de regeneración el álcali es pasado a través de la columna completa, convirtiendo de esta manera el intercambiador de hidrógeno en la forma sódica, posteriormente la columna es enjuagada, finalmente el intercambiador de hidrógeno es regenerado haciendo pasar ácido sulfúrico desde un distribuidor colocado en el límite de los dos materiales. Después del enjuague del intercambiador catiónico es alimentado aire para volver a mezclar los materiales.

Tabla 6. Calidad del agua desmineralizada⁵

Simbología :

DS: Desgasificador

H: Unidad de intercambio de hidrógeno.

AF: Unidad de intercambio de hidrógeno de ácido fuerte.

BF: Unidad de intercambio aniónico de base fuerte.

AD: Unidad de intercambio de hidrógeno de ácido débil.

BD: Unidad de intercambio aniónico de base débil.

*: Estas unidades son pequeños pulidores.

Proceso	Conductividad en el Efluente Micro-ohm/cm	Sílice (ppm)	Notas
H-BD-DG	10-20	Invariable	Bajos costo de material para intercambio y regenerante
H-DG-BF	10-20	0.02-0.15	-
H-BD-DG-BF	10-20	0.02-0.15	Para aguas con alto contenido de sulfatos y cloro. Bajos costos, el intercambiador aniónico de base débil remueve la mayoría de los aniones del agua
H-BD-DG-H-BF*	3-5	0.02-0.15	Para aguas con alto contenido de sulfatos y cloro.
H-DG-BF-H-BF*	1-5	0.02-0.15	Para aguas en las que la alcalinidad está en mayor proporción que los aniones.
H-DG-BF-H-BF	1-5	0.02-0.15	Facilidad de operación. Con su operación en paralelo pueden mantenerse el flujo constante mediante la regeneración de una unidad.
Lecho mixto: AF/BF AF/BD AD/BF AD/BD	<1 1-10 1 100-1000	0.02-0.15 Invariable 0.02-0.15 Invariable	Alta calidad en el efluente. Buena eficiencia de la regeneración Buena eficiencia de la regeneración Alta eficiencia de la regeneración. Baja calidad del efluente.
H-BD-DG-AF/BF	<1	0.02-0.15	Para aguas con alto contenido de sulfatos y cloro.
H-BF-DG- AF/BF	<1	0.02-0.15	Para agua con alto contenido de alcalinidad y sílice
H-DG- AF/BF	<1	0.02-0.15	Para aguas con alta alcalinidad.

3.5.3.9.Reducción de la alcalinidad^{3,5}

Es deseable tener alguna alcalinidad en el agua de la caldera, así que rara vez se lleva a cabo una remoción completa de la alcalinidad del agua de reemplazo de la caldera, excepto en la desmineralización. La presencia de cierta alcalinidad es necesaria también para dar el pH óptimo en el agua de alimentación a fin de prevenir la corrosión de la tubería y el equipo.

Muchas de las aguas tratadas por intercambio de bases podrían contener más bicarbonato de sodio del permisible para el agua de alimentación a las calderas, como el bicarbonato de sodio se descompone para dar sosa cáustica entonces se puede provocar la fragilización cáustica, por lo que la adición de químicos para evitar este fenómeno puede resultar en altos costos, además el contenido de sólidos disueltos en el agua de alimentación será muy alto, por lo que las purgas a su vez serán altas también. El otro problema por exceso de alcalinidad se refiere a la descomposición del bicarbonato (NaHCO_3) en CO_2 , el cual al disolverse en el condensado lo hace altamente corrosivo. Razones por las que un tratamiento para el control de la alcalinidad deberá ser aplicado.

- **Mezclado⁵**

En este proceso para el control de la alcalinidad, una unidad de intercambio básico y una unidad de intercambio de hidrógeno son operadas en paralelo, en la primera de estas unidades el calcio y magnesio son reemplazadas por sodio, mientras que en la segunda el calcio y magnesio son reemplazadas por iones hidrógeno, posteriormente el agua de las dos unidades que contienen bicarbonato de sodio y ácido respectivamente son mezcladas, cuando los iones de hidrógeno reaccionan con el bicarbonato forman agua y bióxido de carbono. Después de este tratamiento el agua tratada es a menudo desgasificada para remover el dióxido de carbono producido, en caso de requerir la eliminación de oxígeno, el agua deberá ser pasada por un deaerador, el bióxido de carbono podrá ser removido con este procedimiento si el pH del agua tratada es menor a 5.0.

- **Resinas de ácidos débiles⁵**

Si el agua es pasada a través de una columna de resina de este tipo de la forma de hidrógeno, dióxido de carbono y agua se formará a partir de los bicarbonatos y carbonatos

presentes, y por otro lado una pequeña cantidad de acidez libre mineral se formará como es el sulfato de calcio. Es así que la alcalinidad del agua es reducida, el bióxido de carbono disuelto puede ser removido por medio de un desgasificador.

La alcalinidad también puede ser controlada por otros procesos, aunque éstos suelen ser los más utilizados.

3.5.4. ELECTRODIÁLISIS⁵

Electrodiálisis es el término empleado para describir el paso de iones a través de una membrana semipermeable en una solución electrolítica debido a la fuerza obtenida de la aplicación de una diferencia de potencial entre dos electrodos dentro de dicha solución. La efectividad de la electrodiálisis depende de la selectividad de las membranas y su permeabilidad, por esta razón se les ha clasificado en membranas permeable-selectivas y membranas ion-selectivas. El proceso se describe en la Figura 3.9 en el que se observa de manera general como la celda en donde se lleva cabo la reacción es dividida en tres compartimientos por las dos membranas de intercambio iónico, y los electrodos son colocados dentro de los dos compartimientos externos. Cuando una diferencia de potencial es aplicado los iones se mueven hacia la membrana de acuerdo a su tipo dejando finalmente un agua baja en sales en el centro de la celda.

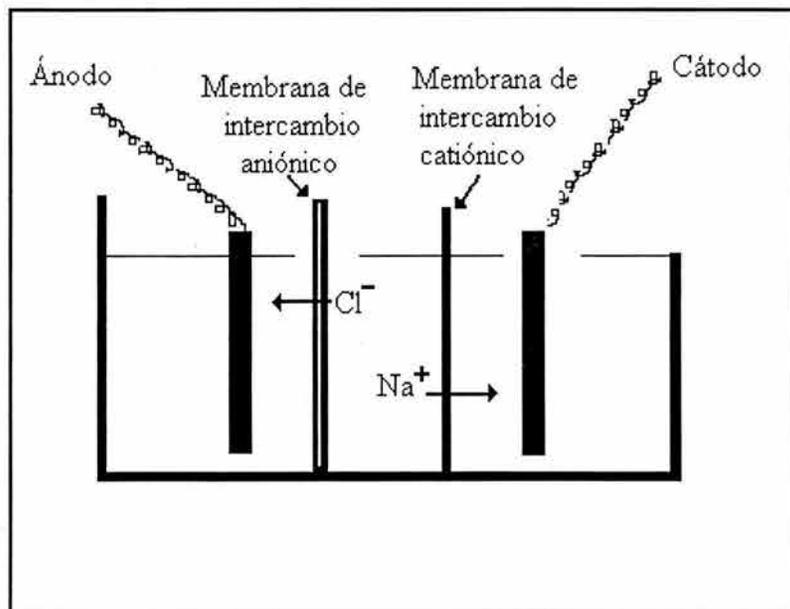


Figura 3.9. Esquema del principio de la electrodiálisis.

3.5.5. ÓSMOSIS INVERSA⁵

El proceso de ósmosis permite que el agua fluya por difusión desde zonas donde se encuentra relativamente pura con baja concentración de sales a zonas donde se encuentra con alta concentración a través de una membrana semipermeable, el resultado final es la extracción de agua casi sin sales, materia orgánica, coloides, organismos microbiológicos y sílice.

Una membrana semipermeable es cualquier membrana animal, vegetal o sintética en el que el agua puede penetrar o traspasar con mucha facilidad que los otros componentes que se encuentran en solución en ella.

La ósmosis inversa es un proceso inventado por el hombre que invierte el fenómeno natural de osmosis. El objetivo de la osmosis es obtener agua purificada partiendo de un caudal de agua que está relativamente impura o salada. Esto logra separar de este caudal de agua contaminada con sales, un caudal menor de agua pura. En este proceso se aplica presión al caudal con una más alta concentración de sales para forzar un caudal inverso a través de la membrana semipermeable.

3.5.6. ELECTRODESIONIZACIÓN⁵

El proceso de electrodesionización se conjugan tres tecnologías:

- Intercambio iónico
- Membranas de ión selectivas
- Electrodialisis

Las resinas de intercambio iónico se utilizan habitualmente a la salida de los equipos de ósmosis inversa, son del tipo catión fuerte y anión fuerte, para este sistema solo difieren en tamaño y partícula ya que son de tamaño mas reducido.

Las membranas de ión selectivo se fabrican con centros activos y operan bajo el mismo principio que las de intercambio iónico. Así se tiene una membrana catiónica con centro activo del tipo sulfónico (carga eléctrica negativa) y otra membrana aniónica con centro activo de grupos amonio cuaternario (carga eléctrica positiva).

La membrana catiónica sumergida en el agua atrae a los cationes mientras que rechaza a los aniones, por lo tanto el agua contenida en sus poros enriquece en cationes el mismo proceso, a la inversa ocurre con las membranas aniónicas.

Si estas membranas se colocan en forma alternada en una cuba y mediante los dos electrodos se aplica una diferencia de potencial eléctrico, se obligará a los iones a circular a través de las membranas y por las catiónicas pasarán preferentemente los cationes y a través de las aniónicas lo harán solamente los aniones. De esta forma haciendo circular a través de ellas agua salobre es posible separar dos corrientes de agua una con baja y la otra con alta salinidad, resultando se este el principio de la electrodiálisis.

3.5.7. DESAEREADORES^{2,5}

Se conocen como desaereadores aquellos dispositivos mecánicos empleados para liberar los gases contenidos en el agua de alimentación (oxígeno, CO₂, anhídrido carbónico y otros gases). Su funcionamiento consiste en dividir el agua de alimentación en finas gotitas, calentándolas a continuación para transformarlas en vapor dentro del desaereador y separar los gases a medida que el vapor se va condensando. En los desaereadores el fluido calorífico acostumbra ser el vapor, a presiones comprendidas entre valores altos hasta otros inferiores a la presión atmosférica. En forma general, se puede considerar que existen dos métodos de desaereación física del agua:

- Desaereación Térmica
- Desaereación a vacío
- Desaereación Térmica

El objetivo de este proceso es eliminar el oxígeno y el dióxido de carbono disueltos en el agua. Debido a que la solubilidad del oxígeno disminuye al aumentar la temperatura del agua, el método más común de desaereación del agua consiste en calentarla hasta el llegar al punto de ebullición mediante contacto directo con vapor.

El desaereador térmico consta de un domo y un tanque horizontal para el almacenamiento del agua (Figura 3.11). El domo tiene un sistema de atomizado que recibe el agua de entrada, la cual se distribuye por medio de espreas rociadores aumentando el área de contacto del agua con el vapor.

El vapor entra por un costado y el agua cae en forma de cascada sobre bandejas. Las bandejas incrementan la superficie expuesta y permiten la disipación del oxígeno con mayor facilidad.

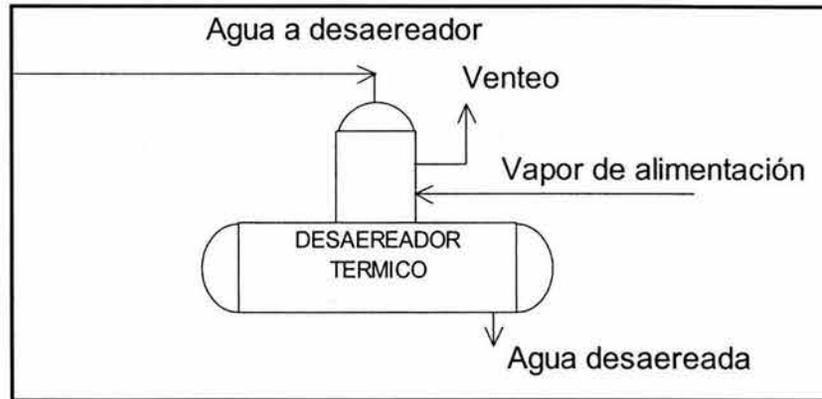


Figura 3.11. Representación esquemática de un desaereador.

La presión de operación de estos equipos es generalmente de 1 kg/cm^2 . En ocasiones, se llega a utilizar el desaereador como punto de aplicación de reactivos químicos, tales como la hidracina o el sulfito de sodio, para eliminar las últimas trazas de los gases disueltos. Además de eliminar estos, el desaereador tiene la finalidad de precalentar el agua de alimentación a la caldera. El oxígeno contenido en el agua de alimentación a la caldera puede ser reducido hasta menos de 0.005 ppm . Como el CO_2 es removido, el incremento en el pH nos proporciona una medida de la eficiencia del desaereador.

3.5.8. COMPARACIÓN DE LOS PROCESOS DE SUAVIZACIÓN E INTERCAMBIO IÓNICO³

El agua puede ser suavizada por precipitación como por desmineralización, métodos revisados anteriormente; estos pueden ser usados independientemente o en combinaciones entre ellos y la calidad depende del proceso usado y las condiciones de operación de cada uno. A continuación se muestra una tabla comparativa de la calidad del agua tratada después de la aplicación de los procesos mencionados.

3.5.8.1. Comparación de procesos de ablandamiento de agua

Tabla 7. Comparación de procesos de ablandamiento de agua³

Proceso	Residuos (ppm)			
	Dureza	Alcalinidad	Sílice	SDT
Agua Original	160	135	10	275
Intercambio de sodio	Cero	135	10	290
Intercambio de sodio y ácido	Cero	20	10	290
Corriente dividida	Cero	20	10	170
Cal parcial (fría)	75	50	9	190
Cal caliente-zeolita	Cero	30	1	155

3.5.8.2. Comparación de procesos de reducción de la alcalinidad

Tabla 8. Comparación de procesos de reducción de alcalinidad³

Proceso	Residuos (ppm)			
	Alcalinidad	Dureza	Sílice	SDT
Agua Original	135	160	10	275
Adición directa de ácido	20	160	10	290
Corriente dividida	20	Cero	10	170
Na ₂ X y Cl	20	Cero	10	290
Cal fría	50	75	9	190
Cal caliente-zeolita	30	Cero	1	155

3.5.8.3. Control de calidad del agua de la unidad desmineralizadora

Tabla 9. Parámetros de control en la unidad desmineralizadora³

Parámetro	Valor Recomendado
Dureza (ppm)	0 en catión , 0 en anión
Acidez libre mineral (ppm)	<20 en el catión
Sílice (ppm)	10 en el anión
Conductividad (µmho/cm)	<50 en el anión
pH	7-10 en agua desmineralizada

3.6. TRATAMIENTO INTERNO^{3,5}

Los reactivos que se adicionan al agua de la caldera son con el fin de eliminar las trazas de los gases disueltos que no se lograron eliminar en los desaeradores, de la dureza o sílice remanente y como un método para controlar el pH del agua. Los reactivos más comúnmente empleados y su dosificación se describe a continuación.

3.6.1. ADICIÓN DE SULFITO DE SODIO (Na_2SO_3)^{3,4,5}

El sulfito de sodio, es el reactivo más comúnmente utilizado para efectuar la desaeración química, tanto por su bajo costo, como por su fácil y seguro manejo. Su función básicamente es la de eliminar el oxígeno disuelto en el agua de alimentación a la caldera, mediante la siguiente reacción:



Para este caso se aclara que este reactivo se usa en sistemas de vapor con presiones menores a 1800 psig, ya que a presiones mayores a este valor se incrementan los sólidos disueltos generados por el sulfato de sodio y se descomponen formando dióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno mismos que contribuyen a la corrosión.

El punto de aplicación del sulfito de sodio es generalmente en el desaerador o en la descarga de las bombas de retorno de condensado, la concentración recomendada que se debe aplicar a la corriente de alimentación debe ser calculada para cada caso de acuerdo al flujo de alimentación y la concentración de oxígeno presente (se debe tener cuidado con el grado de pureza del sulfito de sodio). El sulfito de sodio se controla manteniendo concentraciones residuales según las Tablas 3 y 4.

Para obtener la cantidad de sulfito necesaria primero se debe obtener la concentración de oxígeno presente en la corriente de alimentación. Este dato como el de otros contaminantes se obtiene del muestreo y caracterización de la corriente y es comúnmente reportado en bitácoras internas o en el DFP del proceso resultado de un análisis estadístico. Se deberá tener especial cuidado en que este valor sea representativo de la corriente de alimentación a las calderas.

En este ejemplo como para los otros casos de cálculo se tomará como base 1 ppm de contaminante en el agua de alimentación a la caldera. Por lo que al aplicar a un caso real solo se tendrá que multiplicar por la cantidad real de contaminante existente.

$$[O_2] \longrightarrow \boxed{\text{Concentración de oxígeno} = 1\text{ ppm}}$$

DATOS REQUERIDOS

- ◇ $[O_2] = 1\text{ ppm}$
- ◇ $F(\text{Vol})_{\text{corriente de alimentación}} = 1,000\text{ (m}^3/\text{d)}$
- ◇ **Químico a dosificar:** SULFITO DE SODIO
- ◇ **Pureza:** 93 %
- ◇ **Reacción Balanceada:** $2Na_2SO_3 + O_2 \rightarrow 2Na_2SO_4$
- ◇ $\alpha = \text{Relación de coeficientes estequiométricos}$ $\alpha = \frac{2\text{ mol } Na_2SO_3}{1\text{ mol } O_2}$
- ◇ $PM_{O_2} = 32\text{ g/mol}$
- ◇ $PM_{Na_2SO_3} = 126\text{ g/mol}$

CÁLCULOS

- Concentración molar de oxígeno se obtiene a partir del dato de concentración de oxígeno en la corriente de alimentación a la caldera y de el peso molecular del oxígeno.

$$[O_2]_{\text{molar}} = [O_2]_{\text{ppm}} * \left(\frac{1}{PM_{O_2}} \right) \tag{32}$$

$$[O_2]_{\text{molar}} = [1\text{ ppm}] * \left(\frac{1}{32\text{ g/mol } O_2} \right)$$

$$[O_2]_{\text{molar}} = \left[1 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right] * \left(\frac{1}{32\text{ g/mol } O_2} \right) = 0.03125 \frac{\text{mol } O_2}{\text{m}^3}$$

$$[O_2]_{molar} = 0.03125 \frac{molO_2}{m^3} \quad (33)$$

- El oxígeno total en la corriente de alimentación se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Flujo másico de } O_2 \rightarrow F_{O_2} \left(\frac{kg}{d} \right) = [O_2]_{ppm} * (\text{Flujo}(Vol)_{\text{Corriente de alimentación}}) * \left(\frac{1}{1000} \right) \quad (34)$$

$$\text{Flujo molar de } O_2 \rightarrow F_{O_2} \left(\frac{mol}{d} \right) = [O_2]_{ppm} * (\text{Flujo}(Vol)_{\text{Corriente de alimentación}}) * \left(\frac{1}{1000} \right) * \left(\frac{1}{PM_{O_2}} \right) \quad (35)$$

- El cálculo de la cantidad de sulfito de sodio necesario para eliminar 1 ppm de O_2 se realiza aplicando la ecuación siguiente:

$$[Na_2SO_3]_{molar} = [O_2]_{molar} * \alpha \quad (36)$$

donde $[Na_2SO_3]_{molar}$: Es la concentración molar de sulfito de sodio

- Con el valor obtenido en (33) sustituimos la Ecuación (36) para calcular la concentración molar de sulfito de sodio:

$$[Na_2SO_3]_{molar} = \left[0.03125 \frac{molO_2}{m^3} \right] * \frac{2molNa_2SO_3}{1molO_2} = 0.0625 \frac{molNa_2SO_3}{m^3}$$

$$[Na_2SO_3]_{molar} = 0.0625 \frac{molNa_2SO_3}{m^3} \quad (37)$$

- La concentración de sulfito de sodio en ppm se obtiene de la siguiente manera:

$$[Na_2SO_3]_{ppm} = [Na_2SO_3]_{molar} * PM_{Na_2SO_3} \quad (38)$$

Al sustituir la Ecuación (38):

$$[Na_2SO_3]_{ppm} = 0.0625 \frac{molNa_2SO_3}{m^3} * \frac{126g}{molNa_2SO_3} = 7.9 \frac{g}{m^3}$$

- Por tanto, la concentración que deberá tener la corriente de alimentación para eliminar 1 ppm de oxígeno disuelto es :

$$[Na_2SO_3]_{ppm} = 7.9 \frac{g}{m^3} = 7.9 ppm \quad (39)$$

- En caso de que la concentración de oxígeno en el agua de alimentación a la caldera sea diferente a 1 ppm, se debe multiplicar la concentración representativa del contaminante por 7.9 ppm obtenido en (39), para conocer $[Na_2SO_3]_{ppm}$.

$$[Na_2SO_3]_{ppm} = [O_2]_{ppm} * 7.9 \quad (40)$$

- Con el dato anterior y la ecuación siguiente se puede encontrar la cantidad total por día de sulfito de sodio que deberá agregarse a la corriente de alimentación.

$$F_{Na_2SO_3} \left(\frac{kg}{d} \right) = [Na_2SO_3]_{ppm} * Flujo(Vol)_{Corriente de alimentación} * \frac{1}{1000} \quad (41)$$

$$F_{Na_2SO_3} \left(\frac{kg}{d} \right) = [O_2]_{ppm} * Flujo(Vol)_{Corriente de alimentación} * \frac{7.9}{1000} \quad (42)$$

- Se deberá tener especial cuidado al momento de dosificar cualquier sustancia química, respecto a la pureza de este químico. En caso de que no sea 100% puro, se deberá utilizar la ecuación siguiente para obtener el flujo másico total que deberá ser añadido:

$$F_{Na_2SO_3} \left(\frac{kg}{d} \right) = [Na_2SO_3]_{ppm} * Flujo(Vol)_{Corriente de alimentación} * \frac{0.1}{\% pureza} \quad (43)$$

$$F_{Na_2SO_3} \left(\frac{kg}{d} \right) = [O_2]_{ppm} * Flujo(Vol)_{Corriente de alimentación} * \frac{7.9}{1000} * \frac{100}{\% pureza} \quad (44)$$

3.6.2. ADICIÓN DE HIDRACINA (N₂H₄)^{3,4,5}

La hidracina es un reactivo utilizado generalmente para realizar la desaereación química a presiones elevadas. Su función es la de eliminar el oxígeno disuelto según la siguiente reacción:



Normalmente se recomienda su uso para presiones mayores a 1800 psig, aunque en algunos casos puede llegar a usarse cuando se estén manejando presiones bajas.

Con el propósito de asegurar que la reacción con el oxígeno sea completa en el sistema de alimentación, la hidracina deberá aplicarse lo más lejano posible de la caldera (por ejemplo en la descarga de bombas de condensado o en la succión de las bombas de alimentación).

Se recomienda evitar concentraciones elevadas de residuos de hidracina en el agua, para prevenir que el producto de descomposición (en este caso el amoníaco), ataque a las aleaciones a base de cobre que se tengan en el sistema (Tabla 3).

DATOS REQUERIDOS

◇ $[O_2] = 1 \text{ ppm}$

◇ $F(\text{vol})_{\text{corriente de alimentación}} = 1000 \text{ (m}^3/\text{d)}$

◇ **Químico a dosificar:** HIDRACINA

◇ **Pureza:** 35 %



◇ $\alpha = \text{Relación de coeficientes estequiométricos}$ $\alpha = \frac{1 \text{ mol } N_2H_4}{1 \text{ mol } O_2}$

◇ $PM_{O_2} = 32 \text{ g/mol}$

◇ $PM_{N_2H_4} = 32 \text{ g/mol}$

CÁLCULOS

- La concentración molar de oxígeno, en la corriente se obtiene de la Ecuación (46).

$$[O_2]_{\text{molar}} = [O_2]_{\text{ppm}} * \left(\frac{1}{PM_{O_2}} \right) \quad (46)$$

$$[O_2]_{\text{molar}} = [1 \text{ ppm}] * \left(\frac{1}{32 \text{ g/mol } O_2} \right)$$

$$[O_2]_{molar} = \left[1 \frac{g}{m^3} \right] * \left(\frac{1}{32g / molO_2} \right) = 0.03125 \frac{molO_2}{m^3}$$

$$[O_2]_{molar} = 0.03125 \frac{molO_2}{m^3} \quad (47)$$

- El oxígeno total en la corriente de alimentación se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Flujo másico de } O_2 \rightarrow F_{O_2} \left(\frac{kg}{d} \right) = [O_2]_{ppm} * (\text{Flujo}(Vol)_{\text{Corriente de alimentación}}) * \left(\frac{1}{1000} \right) \quad (48)$$

$$\text{Flujo molar de } O_2 \rightarrow F_{O_2} \left(\frac{mol}{d} \right) = [O_2]_{ppm} * (\text{Flujo}(Vol)_{\text{Corriente de alimentación}}) * \left(\frac{1}{1000} \right) * \left(\frac{1}{PM_{O_2}} \right) \quad (49)$$

- El cálculo de la cantidad de hidracina necesario para eliminar 1 ppm de O_2 se realiza a continuación. De manera general las moles de hidracina necesarias para reaccionar estequiométricamente con el oxígeno disuelto son:

$$[N_2H_4]_{molar} = [O_2]_{molar} * \alpha \quad (50)$$

donde $[N_2H_4]_{molar}$ es la concentración molar de hidracina.

- Con el valor de la concentración molar de oxígeno de la corriente de alimentación a calderas (Ecuación 47), se sustituye en la Ecuación (50) para calcular la concentración molar de hidracina:

$$[N_2H_4]_{molar} = \left[0.03125 \frac{molO_2}{m^3} \right] * \frac{1molN_2H_4}{1molO_2} = 0.03125 \frac{molN_2H_4}{m^3}$$

$$[N_2H_4]_{molar} = 0.03125 \frac{molN_2H_4}{m^3} \quad (51)$$

- La concentración de hidracina en ppm se obtiene de la siguiente manera:

$$[N_2H_4]_{ppm} = [N_2H_4]_{molar} * PM_{N_2H_4} \quad (52)$$

Al sustituir queda:

$$[N_2H_4]_{ppm} = 0.03125 \frac{molN_2H_4}{m^3} * \frac{32g}{molNa_2SO_3} = 1 \frac{gN_2H_4}{m^3}$$

- Por tanto, la concentración que deberá tener la corriente de alimentación para eliminar 1 ppm de oxígeno disuelto es :

$$[N_2H_4]_{ppm} = 1 \frac{g}{m^3} = 1 ppm \quad (53)$$

- En caso de que la concentración de oxígeno en el agua de alimentación a la caldera sea diferente a 1 ppm, se debe multiplicar la concentración obtenida por 1 ppm obtenidos en la Ecuación (53), para conocer $[N_2H_4]_{ppm}$.

$$[N_2H_4]_{ppm} = [O_2]_{ppm} * 1 \quad (54)$$

De aquí se obtiene que 1 ppm de oxígeno disuelto requiere 1 ppm de hidracina.

- Con el dato anterior y la ecuación siguiente se puede encontrar la cantidad total por día de hidracina que deberá agregarse a la corriente de alimentación.

$$F_{N_2H_4} \left(\frac{kg}{d} \right) = [N_2H_4]_{ppm} * Flujo(Vol)_{Corriente\ de\ alimentación} * \frac{1}{1000} \quad (55)$$

O bien a partir del oxígeno en la corriente de alimentación:

$$F_{N_2H_4} \left(\frac{kg}{d} \right) = [O_2]_{ppm} * Flujo(Vol)_{Corriente\ de\ alimentación} * \frac{1}{1000} \quad (56)$$

- Se deberá tener especial cuidado al momento de dosificar cualquier sustancia química, respecto a la pureza de este químico. En caso de que no sea 100% puro, se deberá utilizar la ecuación siguiente para obtener el flujo másico total que deberá ser añadido:

$$F_{N_2H_4} \left(\frac{kg}{d} \right) = [N_2H_4]_{ppm} * (Flujo(Vol)_{Corriente\ de\ alimentación} \frac{m^3}{d}) * \frac{0.1}{\%pureza} \quad (57)$$

3.6.3. ADICIÓN DE FOSFATOS^{3,4,5}

Los fosfatos comúnmente usados en el tratamiento del agua de caldera son:

Fosfato trisódico Na_3PO_4

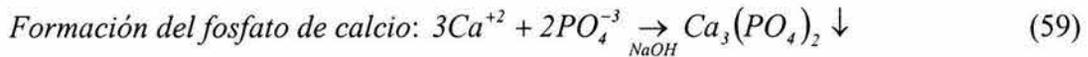
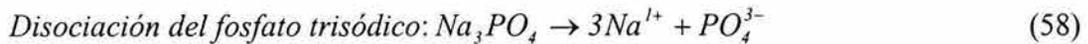
Fosfato disódico Na_2HPO_4

Fosfato monosódico NaH_2PO_4

Metafosfato de sodio NaPO_3

- Fosfato Trisódico como tratamiento de la dureza de calcio.

Una de los principales causas de incrustaciones es la formación de CaCO_3 , misma que es factible a pH de 9.5. La formación de este compuesto en el interior de la caldera deberá ser evitada, para esto, se usa el Na_3PO_4 que a $\text{pH} > 9.5$ se disocia para formar el fosfato de calcio, siguiendo las siguientes reacciones:



En el caso de la presencia de calcio se calculó la cantidad de fosfato que se requeriría en el agua de alimentación a calderas en caso de contar con 1 ppm de calcio.

- Fosfato Trisódico como inhibidor de la corrosión.

Existen diversas formas de prevenir la corrosión en calderas como son la eliminación del oxígeno y el mantenimiento de una alcalinidad adecuada. A pesar de que la presencia de OH^- es deseable para prevenir la oxidación por oxidación del Fe, se ha observado que un exceso en la concentración de OH^- causa lo que se conoce como fragilización cáustica (tipo de fractura por corrosión bajo tensión producida por la acumulación de altas concentraciones de hidróxido de sodio).

Es por esto que se usa el fosfato trisódico, que mediante el control pH-fosfato coordinado inhibe la tendencia a la fragilización cáustica.

DATOS REQUERIDOS

- ◇ $[Ca^{2+}]_{CaCO_3} = 1 \text{ ppm}$
- ◇ $[Ca^{2+}]^* = ([Ca^{2+}]_{CaCO_3}) / 2.49 = 0.4016 \text{ ppm}$
- ◇ **F(vol)**_{corriente de alimentación} = Es el flujo volumétrico de la corriente de alimentación a la caldera (m³/d)
- ◇ **Químico a dosificar:** Na₃PO₄
- ◇ **Pureza:**
- ◇ **Reacción Balanceada:**



- ◇ **α=Relación de coeficientes estequiométricos**

$$\alpha = \left(\frac{2 \text{ mol } PO_4^{3-}}{3 \text{ mol } Ca^{2+}} \right) * \left(\frac{1 \text{ mol } Na_3PO_4}{1 \text{ mol } PO_4^{3-}} \right) = \left(\frac{2 \text{ mol } Na_3PO_4}{3 \text{ mol } Ca^{2+}} \right) = \left(\frac{2 \text{ mol } Na_3PO_4}{3 \text{ mol } Ca^{2+}} \right)$$

- ◇ **PM_{O2}**=40.1 g/mol
- ◇ **PM_{N2H4}**=164 g/mol

*A menudo la concentración de calcio viene dada como CaCO₃, por lo que deberá dividirse entre 2.49 que es el factor a $[Ca^{2+}]$

CÁLCULOS

- Concentración molar de calcio.

$$[Ca^{2+}]_{molar} = [Ca^{2+}]_{(ppm)} * \left(\frac{1}{PM_{Ca^{2+}}} \right) \tag{60}$$

$$[Ca^{2+}]_{molar} = (0.4016 \text{ ppm}) * \left(\frac{1}{40.1 \text{ g/mol } Ca^{2+}} \right)$$

$$\left[Ca^{2+}\right]_{molar} = 0.010 \left(\frac{molCa^{2+}}{m^3}\right) \quad (61)$$

- El calcio total en la corriente de alimentación se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Flujo másico de } Ca^{2+} \rightarrow F_{Ca^{2+}} \left(\frac{kg}{d}\right) = \left[Ca^{2+}\right]_{ppm} * (\text{Flujo}(Vol)_{\text{Corriente de alimentación}}) * \left(\frac{1}{1000}\right) \quad (62)$$

Flujo molar de $Ca^{2+} \rightarrow$

$$F_{Ca^{2+}} \left(\frac{kg}{d}\right) = \left[Ca^{2+}\right]_{ppm} * (\text{Flujo}(Vol)_{\text{Corriente de alimentación}}) * \left(\frac{1}{1000}\right) * \left(\frac{1}{PM_{Ca^{2+}}}\right) \quad (63)$$

- Sustituyendo el valor de α y el valor obtenido en (61) sustituimos en la Ecuación (64) para obtener la concentración molar de fosfato de sodio necesario en el agua de alimentación:

$$\left[Na_3PO_4\right]_{molar} = \left[Ca^{2+}\right]_{molar} * \alpha \quad (64)$$

$$\left[Na_3PO_4\right]_{molar} = (0.010) * \frac{2molNaPO_4}{3molCa^{2+}} = 6.67E-3 \frac{molNaPO_4}{m^3} \quad (65)$$

- La concentración en ppm se calcula partiendo de la concentración molar calculada en la Ecuación (64):

$$\left[Na_3PO_4\right]_{ppm} = \left[Na_3PO_4\right]_{molar} * PM_{Na_3PO_4} \quad (66)$$

$$\left[Na_3PO_4\right]_{ppm} = 6.67E-3 \frac{molNa_3PO_4}{m^3} * \left(\frac{164g}{molNa_3PO_4}\right) = 1.1ppm \quad (67)$$

- En caso de que la concentración de Ca^{2+} sea diferente a 1 ppm en la corriente de alimentación a la caldera, se debe, multiplicar esa concentración por 1.1 ppm obtenidos en la Ecuación (67).

$$\left[Na_3PO_4 \right]_{ppm} = \left[Ca^{2+} \right]_{ppm} * 1.1 \quad (68)$$

- El flujo másico se calcula con la concentración de fosfato de sodio en ppm y el flujo volumétrico:

$$F_{Na_3PO_4} \left(\frac{kg}{d} \right) = Na_3PO_4 \left(\frac{g}{m^3} \right) * Flujo (Vol)_{corriente alimentación} * \left(\frac{1}{1000} \right) \quad (69)$$

de otra manera:

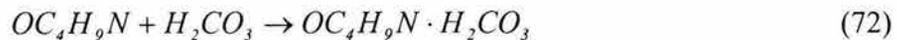
$$F_{Na_3PO_4} \left(\frac{kg}{d} \right) = \left[Ca^{2+} \right]_{ppm} * Flujo (Vol)_{corriente alimentación} * \left(\frac{1.1}{1000} \right) \quad (70)$$

- Si el fosfato que se agrega no es 100% puro entonces se debe realizar el ajuste a la Ecuación (70) en donde se incluya la pureza del químico a dosificar, por lo que la Ecuación (69) quedaría de la siguiente manera:

$$F_{Na_3PO_4} \left(\frac{kg}{d} \right) = Na_3PO_4 \left(\frac{g}{m^3} \right) * Flujo (Vol)_{corriente alimentación} * \left(\frac{1}{1000} \right) * \left(\frac{100}{\% pureza} \right) \quad (71)$$

3.6.4. ADICIÓN DE MORFOLINA^{3,4,5}

La morfolina (CO₄H₉N) es una amina neutralizante, usada para controlar el pH en el agua de alimentación a calderas. La reacción de la morfolina con el H₂CO₃ es la siguiente:



El H₂CO₃ es el ácido carbónico, producto de la disolución del dióxido de carbono en agua:



Esta reacción tiene una constante de equilibrio de:

$$k_m = 10^{-2.8} \quad (74)$$

Expresando k_m en función de las concentraciones de reactivos y productos de la reacción 73, se tiene:

$$k_m = \frac{[H_2CO_3]}{[CO_2][H_2O]} \quad (75)$$

donde las concentraciones anteriores son concentraciones molares y se expresan de la siguiente manera:

$$[CO_2] = C_i - x \quad (76)$$

$$[H_2O] = 55 M \quad (77)$$

$$[H_2CO_3] = x \quad (78)$$

donde C_i es la concentración molar inicial de dióxido de carbono, 55 M es la concentración molar del agua para soluciones diluidas y x son las moles de dióxido que reaccionan y por tanto, las moles de ácido carbónico que se forman.

Reemplazando las Ecuaciones (76), (77) y (78) en la Ecuación (75), se tiene:

$$k_m * 55 = \frac{x}{C_i - x}$$

$$0.087 = \frac{x}{C_i - x} \quad (79)$$

despejando x de la Ecuación 79:

$$x = 0.08 * C_i \quad (80)$$

Sustituyendo el valor de la concentración molar inicial de CO_2 en la ecuación anterior obtenemos el valor del CO_2 que reacciona para formar H_2CO_3 . Para conocer el valor del C_i , se deberá obtener el valor de la concentración de CO_2 en las corrientes de alimentación a las calderas.

A continuación se ejemplifica la secuencia de cálculo para una concentración supuesta de CO₂ en el agua alimentación a calderas de 10 ppm.

Las 10 ppm equivalen a

$$[CO_2]_{ppm} = 10 ppm = 10 \frac{g}{m^3} \quad (81)$$

y el peso molecular del CO₂ es 44 g/mol; con estos valores, C_i es:

$$C_i = \frac{[CO_2]_{ppm}}{PM_{CO_2}} = \frac{10 \frac{g}{m^3}}{44 \frac{g}{mol}} = 0.227 \frac{moles}{m^3}$$

reemplazando el valor anterior en la Ecuación (80) se tiene:

$$x = 0.08 * 0.227 = 0.018 \frac{moles}{m^3}$$

Reemplazando el valor anterior en la Ecuación (78):

$$[H_2CO_3] = 0.018 \frac{moles}{m^3} \quad (82)$$

Con la concentración molar de ácido carbónico presente en la corriente de alimentación, se puede conocer la cantidad de morfolina necesaria. La relación de coeficientes estequiométricos de la reacción en la Ecuación (31) permite calcular la concentración de morfolina, de la siguiente manera:

$$\alpha = \frac{1 mol OC_4H_9N}{1 mol H_2CO_3} \quad (83)$$

El producto de las ecuaciones (82) y (83), da como resultado la concentración molar de morfolina necesaria:

$$[OC_4H_9N]_{molar} = [H_2CO_3]_{molar} * \alpha \quad (84)$$

$$[OC_4H_9N]_{molar} = 0.018 \frac{moles}{m^3} * \frac{1mol OC_4H_9N}{1mol H_2CO_3} = 0.018 \frac{moles OC_4H_9N}{m^3}$$

$$[OC_4H_9N]_{molar} = 0.018 \frac{moles OC_4H_9N}{m^3} \quad (85)$$

Con la anterior concentración molar de morfolina obtenida en (85) y el peso molecular de la misma, se obtiene la concentración de morfolina en ppm:

Peso molecular de OC_4H_9N : 87g/mol

$$[OC_4H_9N]_{ppm} = [OC_4H_9N]_{molar} * PM_{OC_4H_9N} \quad (86)$$

$$[OC_4H_9N]_{ppm} = 0.018 \frac{moles OC_4H_9N}{m^3} * 87 \frac{g}{mol} = 1.57 \frac{g}{m^3}$$

$$[OC_4H_9N]_{ppm} = 1.57 ppm \quad (87)$$

La Ecuación (82) permite calcular la concentración de ácido carbónico en ppm, al multiplicarlo por el peso molecular del mismo:

Peso molecular de ácido carbónico: 62g/mol

$$[H_2CO_3]_{ppm} = [H_2CO_3]_{molar} * PM_{H_2CO_3} \quad (88)$$

$$[H_2CO_3]_{ppm} = 0.018 \frac{moles}{m^3} * 62 \frac{g}{mol} = 1.12 \frac{g}{m^3}$$

$$[H_2CO_3]_{ppm} = 1.12 ppm \quad (89)$$

Así con la Ecuación (89) obtenemos que 1.12 ppm de H_2CO_3 se forman por la presencia de las 10 ppm de CO_2 supuestas y la Ecuación (84) calcula la cantidad de morfolina necesaria para eliminar las 1.12 ppm de H_2CO_3 formado. Con los resultados obtenidos

obtenemos la relación CO₂ -morfolina requerida, esto es que para 1 ppm de CO₂ presente en la corriente de alimentación a calderas se requiere de 0.157 ppm de morfolina pura.

Si el % pureza de la morfolina es del 40% entonces:

$$[OC_4H_9N]_{ppm} = \frac{0.157 ppm}{0.40} = 0.39 ppm \quad (90)$$

Además de la morfolina son también usadas otras aminas para controlar el nivel de pH en el agua. En la Tabla 10 se muestran las cantidad de aminas requeridas para obtener un valor de pH.

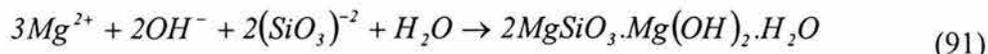
Tabla 10. Cantidad de amina requerida para obtener un valor de pH.⁵

AMINA	CONDICIONES	CANTIDAD REQUERIDA
Amonia	Ausencia de CO ₂	0.2 ppm para un pH de 9
Ciclohexilamina	Ausencia de CO ₂	1 ppm para un pH de 9
	Presencia de CO ₂	2.3 partes por parte de CO ₂ para un pH de 8.1
		2.0 partes por parte de CO ₂ para un pH de 7.4
		1.4 partes por parte de CO ₂ para un pH de 7

3.6.5. ADICIÓN DE NaOH^{3,4,5}

Cálculo de la cantidad de NaOH que debería agregarse a la corriente de agua de alimentación a las calderas para la eliminación de la sílice y del magnesio presentes.

La remoción de la sílice se lleva a cabo por la reacción de la misma con el magnesio y el hidróxido, para formar el silicato de magnesio ($2MgSiO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 2H_2O$):



Para que se lleve a cabo esta reacción debe existir magnesio y OH^{-} en el agua de alimentación a caldera, por tanto se debe conocer la cantidad aproximada de estos reactivos en el agua de caldera.

- Cálculo de la concentración de Mg^{2+} necesario para la eliminación de la sílice

$$[SiO_2]_{ppm} = 1 \frac{g}{m^3}$$

Para facilitarnos el cálculo de la cantidad de magnesio y OH^{-} que van a reaccionar con la sílice se hace el cambio de la concentración anterior a concentración molar:

$$[SiO_2]_{molar} = [SiO_2]_{ppm} * \frac{1}{PM_{SiO_2}}$$

$$[SiO_2]_{molar} = 1 \frac{g}{m^3} * \frac{1}{60g / molSiO_2} = 0.0166 \frac{molSiO_2}{m^3}$$

A partir de la Ecuación (91) se obtiene α , tanto para la sílice como para el magnesio:

$$\alpha_{Mg^{2+}} = \frac{3molMg^{2+}}{2mol(SiO_3)^{-2}} \quad (92)$$

$$y \quad \alpha_{OH^{-}} = \frac{2molOH^{-}}{2mol(SiO_3)^{-2}} \quad (93)$$

La sílice de la Ecuación (91) esta en forma de ión, por lo que para obtener las moles de SiO_2 se parte de la reacción de disociación:



en donde se tiene que la relación molar es 1-1 para la SiO_2 y el ión $(SiO_3)^{-2}$, por tanto se tiene que:

$$0.0166 \frac{mol SiO_2}{m^3} = 0.0166 \frac{mol (SiO_3)^{-2}}{m^3} \quad (95)$$

Las moles de magnesio que van a reaccionar con la sílice se obtienen con la concentración molar de sílice y el coeficiente estequiométrico del magnesio de la Ecuación (92).

$$[Mg^{2+}]_{molar} = [(SiO_3)^{-2}]_{molar} * \alpha_{Mg^{2+}} \quad (96)$$

$$[Mg^{2+}]_{molar} = 0.0166 \frac{mol (SiO_3)^{-2}}{m^3} * \frac{3 mol Mg^{2+}}{2 mol (SiO_3)^{-2}} = 0.025 \frac{mol}{m^3} \quad (97)$$

La concentración de magnesio en la corriente de agua de alimentación a calderas en ppm se obtiene:

$$[Mg^{2+}]_{ppm} = [Mg^{2+}]_{molar} * PM_{Mg} \quad (98)$$

donde PM_{Mg} es el peso molecular del magnesio; reemplazando este valor se tiene:

$$[Mg^{2+}]_{ppm} = 0.025 \frac{mol}{m^3} * 24.31 \frac{g}{mol Mg} = 0.61 ppm \quad (99)$$

haciendo la conversión a ppm de Mg , como $CaCO_3$:

$$[Mg^{2+}]_{ppm} (CaCO_3) = [Mg^{2+}]_{ppm} * 4.10 \quad (100)$$

NOTA: 4.10 es factor de conversión a ppm de $CaCO_3$.

$$[Mg^{2+}]_{ppm} (CaCO_3) = 0.61 ppm * 4.10 = 2.50 ppm (CaCO_3) \quad (101)$$

- Cálculo de la concentración de OH^- necesario para la eliminación de la sílice:

La concentración molar de OH⁻ se obtiene de la misma manera que se hizo para el magnesio en la Ecuación (96):

$$[OH^-]_{molar} = (SiO_3)^{-2} * \alpha_{OH^-} \quad (102)$$

$$[OH^-]_{molar} = 0.0166 \frac{mol(SiO_3)^{-2}}{m^3} * \frac{2molOH^-}{2mol(SiO_3)^{-2}} = 0.0166 \frac{mol}{m^3} \quad (103)$$

Posteriormente se hace el cálculo de la concentración de OH⁻ necesaria en ppm en el agua de caldera:

$$[OH^-]_{ppm} = [OH^-]_{molar} * PM_{OH^-} \quad (104)$$

donde PM_{OH} es el peso molecular del OH⁻; reemplazando este valor se tiene:

$$[OH^-]_{ppm} = 0.0166 \frac{mol}{m^3} * (17g/molOH^-) = 0.283 ppm \quad (105)$$

Por tanto, para eliminar 1 ppm de SiO₂ se necesita en la corriente de alimentación a calderas las siguientes concentraciones de magnesio y de hidróxido:

$$[Mg^{2+}]_{ppm} = 2.50 ppm(CaCO_3) \quad (106)$$

y

$$[OH^-]_{ppm} = 0.283 ppm \quad (107)$$

En este caso específicamente, se tiene una concentración de sílice en el agua de caldera de una ppm, mucho menor al límite estipulado de 30 ppm (ver Tabla 3); pero en el caso que la concentración del agua de caldera excediera dicho límite, puede ser de ayuda seguir esta metodología de cálculo.

Para conocer la cantidad de hidróxido de sodio necesario se tiene la siguiente relación:

$$\text{Relación NaOH-OH}^- = \frac{1molNaOH}{1molOH^-}$$

Es decir, de la Ecuación (103) se tiene:

$$[NaOH]_{molar} = 0.0166 \frac{mol}{m^3} \quad (108)$$

Esta concentración molar se pasa a concentración en ppm multiplicando por el peso molecular del hidróxido de sodio:

$$[NaOH]_{ppm} = 0.0166 \frac{mol}{m^3} * PM_{NaOH} \quad (109)$$

$$[NaOH]_{ppm} = 0.0166 \frac{mol}{m^3} * \frac{40g}{1molNaOH} = 0.664 ppm \quad (110)$$

Con la Ecuación 110 y la Ecuación siguiente se obtiene el flujo de NaOH, en la corriente de alimentación a las calderas:

$$F_{NaOH} \left(\frac{kg}{d} \right) = [NaOH]_{ppm} * (FlujoVolumétrico_{Corriente\ de\ alimentación}) * \left(\frac{1}{1000} \right) \quad (111)$$

Reemplazando el flujo volumétrico de la corriente de alimentación, se tiene:

$$F_{NaOH} \left(\frac{g}{d} \right) = 0.664 * \left(1000 \frac{m^3}{d} \right)$$

$$F_{NaOH} \left(\frac{g}{d} \right) = 664 \frac{g}{d} \quad (112)$$

3.6.6. FORMAS DE ADICIÓN DE QUÍMICOS

En la Tabla 11 se muestran los métodos de adición de químicos al sistema de generación de vapor, esto es si su adición es continua o intermitente y el punto del sistema en donde debe ser añadido.

Tabla 11. Formas de adición de químicos.⁵

QUÍMICO	FORMA DE ADICIÓN	PUNTO DE ADICIÓN	OBSERVACIONES
Hidróxido de Sodio	Continuo	En o justo antes de precalentadores o en bombas de alimentación, pero después de cualquier deaerador	La adición después del deaerador evita la reacción con el dióxido de carbono en el agua de alimentación y por lo tanto reduce la cantidad requerida.
		Directamente al agua de caldera	Este punto de adición es para cantidades extras requeridas.
	Intermitente*	Directamente al agua de caldera	Cuando grandes dosis de fosfatos son usados.
Carbonato de Sodio	Continuo	Directamente al agua de caldera	Mantiene la cantidad de carbonato requerida
		A la corriente de alimentación	Algunas veces para incrementar el valor del pH del agua de alimentación o para evitar corrosión
	Intermitente*	Directamente al agua de caldera	Algunas ocasiones es mas conveniente
Fosfato Disódico	Continuo	A la corriente de alimentación	No es aconsejable cuando el agua de alimentación contiene apreciables cantidades de dureza.
	Intermitente*	A la corriente de alimentación	Preferible que alimentación continúa
	Continuo o Intermitente*	En el agua de caldera	Mejor método de adición

Tabla 11. Formas de adición de químicos.⁵ (continuación)

QUÍMICO	FORMA DE ADICIÓN	PUNTO DE ADICIÓN	OBSERVACIONES
Fosfato trisódico	Continuo o Intermitente*	En el agua de caldera	Inadecuado para dosis intermitentes debido a la elevación de la alcalinidad.
Polifosfatos con o sin taninos	Continuo	A la corriente de alimentación	Recomendado para control de incrustaciones en equipo auxiliar en calderas de baja presión
	Intermitente*	A la corriente de alimentación	Preferible a la adición continua en tratamientos con fosfatos
	Intermitente*	Directamente al agua de caldera	Preferible en tratamientos con fosfatos
Sulfato de sodio	Continuo	A la corriente de alimentación	Se añade junto con sosa cáustica para control de pH
		Directamente al agua de caldera	Solo cuando la sosa se añade en este punto
Bisulfato de sodio ó ácido sulfúrico	Continuo	A la corriente de alimentación antes del desaereador	Exceso de dióxido de carbono removido en el desaereador
Nitrato de sodio	Continuo	A la corriente de alimentación	Para prevenir la fragilización cáustica
		En el agua de caldera	Cuando sosa cáustica es añadida en este punto
Sulfato de magnesio	Continuo	A la corriente de alimentación	Para prevenir la fragilización cáustica y prevención de incrustaciones

Tabla II. Formas de adición de químicos.⁵ (continuación)

QUÍMICO	FORMA DE ADICIÓN	PUNTO DE ADICIÓN	OBSERVACIONES
Sulfito de sodio Bisulfito de sodio	Continuo	A la corriente de alimentación que sale del desaerador o inmediatamente después del último punto donde el agua está en contacto con el aire	Es comúnmente utilizado en calderas de baja presión, en donde funciona también como reductor de la alcalinidad. Las líneas de químicos no deben permitir el contacto con el aire.
Hidrazina	Continuo	A la corriente de alimentación que sale del desaerador o inmediatamente después del último punto donde el agua está en contacto con el aire	Las líneas de químicos no deben permitir el contacto con el aire.
Aminas neutralizantes	Continuo	A la corriente de alimentación o en el agua de caldera	

* Los químicos son añadidos en una rama de la corriente que después del mezclado regresa a la línea de alimentación a calderas.

3.7. PURGADO^{3,5}

Los productos químicos usados en la remoción de gases disueltos en el agua y sustancias incrustantes, contribuyen al aumento del nivel de sólidos en el agua de caldera. Cuando se genera vapor, la caldera descarga vapor de agua esencialmente puro, y esto permite que los sólidos introducidos en el agua de alimentación se queden en el circuito de la caldera. Existe un límite para la concentración de cada componente en el agua de caldera (ver Tabla 2 y 3). Para evitar que se rebasen estos límites de concentración, se extrae agua de la caldera mediante el purgado; esta purga debe ser calculada para cada contaminante, se escoge como purga adecuada aquella que presente el valor mayor, ya que con el mayor flujo volumétrico se asegura que todos los contaminantes están siendo removidos en la medida necesaria. El flujo de purga se debe reportar en una tabla como la que se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Cálculo del purgado*

CONTAMINANTE	Concentración en el agua de alimentación a caldera (ppm)	Límite de contaminante en el agua de caldera (ppm)	% Purga	Flujo volumétrico de purga requerido (m ³ /d)
SDT(max)	-	-	-	-
Acalinidad total	-	-	-	-
Fosfato PO ₄ ⁻	-	-	-	-
Silice mg de SiO ₂	-	-	-	-
Hierro total	-	-	-	-

*Esta tabla deberá ser llenada cuando se elabore el dictamen del SGV

3.7.1. CALCULO DEL PURGADO^{3,5}

Una de las formas de calcular las purgas en las calderas es por contaminante y se basa en calcular el flujo volumétrico de purga necesario para evitar que la concentración de los contaminantes del agua de la caldera sobrepase los límites estipulados. Se calcula el flujo volumétrico por cada contaminante y se escoge como valor de purga, el mayor valor de flujo volumétrico de purga calculado.

El porcentaje de purga respecto a la corriente de alimentación es:

$$\% \text{ purgas} = \frac{\text{cantidad de agua purgada}}{\text{cantidad de agua alimentada}} * 100 \quad (113)$$

Si hacemos la siguiente igualdad se tiene:

$B = \text{cantidad de agua purgada}$

$F = \text{cantidad de agua alimentada}$

$$\% \text{purgas} = \frac{B}{F} * 100 \quad (114)$$

Si tomamos a K como el % de purgas y hacemos $y=B$; $x=F$ entonces tenemos:

$$K = \frac{y}{x} * 100 \quad (115)$$

Para evitar la acumulación de los contaminantes en el agua de caldera, se debe cumplir:

$$\text{Contaminante que entra} = \text{Contaminante que sale} \quad (116)$$

Si $[\text{Contaminante}] = \text{concentración del contaminante}$

$$y \quad \begin{cases} [\text{Contaminante}]_{\text{entrada}} = a \\ [\text{Contaminante}]_{\text{salida}} = b = \text{límite(ppm)} \end{cases}$$

y teniendo en cuenta la igualdad tomada en la Ecuación (116), se obtiene que la ecuación puede ser escrita de la siguiente manera:

$$ax = by \quad (117)$$

Si se arregla la ecuación anterior para tener el % de purga en función de la concentración del contaminante se tiene:

$$\frac{y}{x} = \frac{a}{b} \quad (118)$$

Si se multiplica por 100 en ambos lados y teniendo en cuenta la Ecuación (113) se tiene:

$$\frac{y}{x} * 100 = \frac{a}{b} * 100 = K \quad (119)$$

Por tanto,

$$K = \frac{a}{b} * 100 \quad (120)$$

Es decir,

$$K = \frac{[\text{conta min ante}]_{\text{entrada}}}{[\text{conta min ante}]_{\text{límite}}} * 100 \quad (121)$$

Esta última Ecuación nos proporciona el porcentaje de purga para cualquier contaminante en función de sus concentraciones a la entrada y salida de la caldera. Por tanto, el flujo volumétrico de la purga necesario para evitar que la concentración de los contaminantes rebasen el límite estipulado para el agua de caldera es:

$$Purga_{\text{necesaria}} = K * \frac{\text{Flujo Volumétrico}_{\text{Corriente de alimentación}}}{100} \quad (122)$$

**RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA
INFORMACIÓN NECESARIA**

IV. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN NECESARIA

Como se mencionó anteriormente un Sistema de Generación de Vapor (SGV), forma parte de un proceso o de un sistema global, el primer paso para la elaboración del dictamen del sistema de generación de vapor es la recopilación de información representativa del sistema de estudio (información de productores y consumidores de vapor), es decir los datos físicos y químicos que definan el sistema y su relación con las operaciones de la planta. Los datos físicos o mecánicos cubren varios tipos de equipos en el abastecimiento de agua del sistema, en el equipo de tratamiento, las unidades que consumen vapor, el manejo del condensado, los auxiliares antes de la caldera y la caldera misma. En cuanto a los datos químicos se incluyen los análisis de todas las corrientes de agua que sean de mayor importancia, esto es: agua cruda, corrientes de condensado, agua tratada, agua de alimentación a caldera, agua de la caldera y desechos.

Esta recopilación se logra mediante diferentes formas, la primera es mediante la solicitud a la planta de la información histórica existente del sistema esto es la recopilación de información de datos de diseño, datos de operación, análisis de laboratorio, prácticas operativas de las instalaciones, equipos periféricos de plantas de proceso y servicios auxiliares (pretratamiento de agua, torres de enfriamiento, planta desmineralizadora, generación de vapor y planta eléctrica). Una planta química está en constante cambio, es común sacar de operación equipos o agregar nuevos, hacer variaciones en los flujos de corrientes entre otras cosas que resultan de los requerimientos del proceso, es por eso que al momento de elaborar un dictamen sobre un sistema es necesario conocer el estado actual, por lo que se recurre a otra forma de recopilación de información que es el levantamiento en campo de la información, ésta recopilación se efectúa en el lugar físico de la planta por parte de personal capacitado y proporciona la información de las prácticas operativas y estado físico de los equipos, este levantamiento va aunado al levantamiento fotográfico y de levantamiento de drenajes, juntos proporcionan una más completa visión del sistema. Finalmente se encuentran los muestreos y aforos que se encargan de proporcionar los datos necesarios para la caracterización de las corrientes del sistema. Actualmente, existen diversos laboratorios especializados que pueden ser los encargados de realizar la caracterización de las muestras recolectadas (En el Apéndice VIII se muestra un listado de los laboratorios de análisis de agua aprobados y vigentes).

A continuación se muestra el procedimiento para la recopilación y análisis de información necesaria para la elaboración de un dictamen de un sistema de generación de vapor de un Centro Procesador de Gas, que es la primera actividad a realizar.

En la elaboración del dictamen del SGV se toma en cuenta además el sistema de desmineralización el cual forma parte del sistema de tratamiento externo, debido a que como se ha explicado la calidad del agua de alimentación al SGV depende directamente de la buena operación del sistema de desmineralización. Por esta los procedimientos que a continuación se describen se enfocan a la descripción de ambos sistemas.

4.1. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN HISTÓRICA DEL SISTEMA GLOBAL

La información histórica se encuentra por lo general en el lugar físico de la planta, para su obtención se deberá acordar con el departamento de soporte a operaciones del Centro Procesador de Gas el mecanismo de solicitud de información y el área de trabajo asignada para el personal de campo. Esta actividad solo podrá realizarse después de que el líder de proyecto por parte del Centro Procesador de Gas apruebe los trabajos de recopilación de información.

Una vez aprobados los trabajos de recopilación de información se debe elaborar un documento en el que se enliste toda la información necesaria y que justifique su uso. Este documento debe de ir dirigido al superintendente de soporte a operaciones y firmado por un representante de la organización externa que esté realizando el proyecto y con copia para (ccp) el coordinador general del proyecto, el coordinador del área técnica técnico y el coordinador administrativo. (ver Apéndice II). La información que debe ser solicitada al Centro Procesador de Gas se enlista a continuación.

1. Layout general de la planta Centro Procesador de Gas.
2. Planos de localización de tanques, plantas de proceso, casetas, oficinas, áreas comunes y servicios auxiliares existentes (filtros, suavizadores, equipos para la generación de vapor, torres de enfriamiento, bombas, tratamiento de efluentes y cualquier equipo que maneje agua).

IV. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN NECESARIA

3. Capacidades instaladas (diseño y real) de la plantas de proceso, así como los niveles de producción históricos de un periodo de 5 años.
4. Descripción de proceso y manuales de operación de las plantas de proceso.
5. Diagrama de flujo de proceso con balance de materia de las plantas de proceso.
6. Diagramas de tubería e instrumentación de los tanques, caseta de bomba de agua, plantas de proceso, quemador elevado, separador de líquido de desfogue de baja, sistema de vapor, tratamientos de agua existentes y sistemas de tratamiento de efluentes de agua.
7. Diagramas mecánicos de flujo de los tanques, casetas de bomba, plantas de proceso, quemador elevado separador de líquido de desfogue de baja y tratamiento de agua existentes y sistemas de tratamiento de efluentes.
8. Censo de los equipos incluyendo bombas, plantas de proceso, tanques, intercambiadores de calor, quemadores, motogeneradores, separadores y equipos para tratamiento de agua existentes y sistemas de tratamiento de efluentes.
9. Filosofía de operación de las plantas de proceso y tratamientos de agua existentes.
10. Hojas de datos y especificaciones de tanques, intercambiadores de calor, equipos de las plantas de proceso y bombas (condiciones de operación, material de fabricación y fluido que se maneja).
11. Balance diario de producción de las plantas de proceso del Centro Procesador de Gas para un periodo de 5 años. (Las plantas pueden ser: endulzadoras, recuperadoras de azufre, criogénicas entre otras).
12. Hojas técnicas, costos y balance mensual de sustancias químicas utilizadas en las plantas de proceso, al igual que los pretratamientos de agua a generadores de vapor, torres de enfriamiento y sistemas de tratamiento de efluentes.
13. Hojas de datos de filtros, suavizadores, equipos de generación de vapor, torres de enfriamiento, bombas, etc. de los equipos que manejan agua.
14. Planos de fabricación y construcción de servicios auxiliares existentes (filtros, suavizadores, equipos de generación de vapor, torres de enfriamiento, bombas, tratamiento de efluentes y cualquier equipo que maneje agua).

IV. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN NECESARIA

15. Ubicación de medidores de flujo de agua, programas aforo y control estadístico de los flujos volumétricos para descargas, captación de agua y plantas en general (período 5 años).
16. Puntos de monitoreo, programas de muestreo de agua y reportes de resultados históricos diarios de laboratorio de los parámetros de control para tratamiento de agua, descargas y plantas en general (período 5 años).
17. Especificación de calidad de agua para consumo de cada equipo y área (instrucciones genéricas u operativas).
18. Descripción de los métodos de análisis de laboratorio de los parámetros de control para tratamiento de agua, descargas y plantas en general (instrucciones genéricas u operativas).
19. Condiciones particulares de descarga.
20. Auditorias ambientales.
21. Costo de descarga y captación de agua establecidos por la Comisión Nacional del Agua al Centro Procesador de Gas.

La información deberá ser entregada en su totalidad por que las siguientes actividades que conllevan a la elaboración del dictamen se basan en datos de presentes en estos documentos.

Al momento de la entrega de la información, el representante del proyecto a cargo de la actividad, deberá firmar un documento en el que se especifiquen todos los documentos recibidos de parte del Centro Procesador de Gas, en el Apéndice II se incluye el formato de un acuse de recibo de información, y la información que este debe contener. En este se debe listar detalladamente toda la información recopilada, se deberá tener especial cuidado en confirmar toda la información que en la lista se incluya.

La información que se entrega al equipo que realiza el proyecto deberá ser regresada al Centro Procesador de Gas al término de su utilización o bien al término de un plazo brindado por la empresa.

Esta información así como la que se produce y maneja durante el desarrollo del proyecto es estrictamente confidencial, por lo que todos los participantes en el desarrollo del proyecto y que tengan acceso parcial o total a la información del Centro Procesador de Gas,

deben de firmar una carta de confidencialidad y una carta de imparcialidad, independencia e integridad. En la primera, se comprometen a guardar confidencialidad de todo documento e información relacionada con el proyecto, en el Apéndice III se ejemplifica una carta de confidencialidad común. En la carta de imparcialidad, independencia e integridad se comprometen a actuar libre de presiones e influencias durante el desarrollo de actividades durante el proyecto, esta carta se incluye también en el Apéndice III.

4.2. CONSTRUCCIÓN DEL DIAGRAMA DEL SISTEMA GLOBAL

Para obtener una visión del proceso se propone la elaboración de un diagrama del sistema global. Este diagrama se realiza en base al uso y tratamiento del agua en el sistema. De manera general el agua que entra al sistema recibe un tratamiento para poder ser usada como agua de enfriamiento o bien para producir vapor, servicios que son enviados posteriormente a las plantas de proceso existentes.

El concepto fundamental utilizado es que el consumo de agua es consecuencia de los requerimientos de los procesos, ya sea en forma de vapor, agua de enfriamiento, agua desmineralizada o bien agua de servicio (clarificada). Por lo que se considera a cada proceso como consumidor, cada consumidor asimila las corrientes y las divide en dos vertientes principales: el agua de retorno y las pérdidas a la atmósfera y drenajes. Se define la eficiencia de un consumidor como la capacidad de tener mayor agua de retorno y menos descargas a los drenajes. En el Diagrama 1 que a continuación se muestra se divide el sistema en tres secciones:

1. En la primera sección se agrupan todos los sistemas que se encargan del acondicionamiento del agua para su utilización por los consumidores intermediarios.
2. Los consumidores intermediarios son aquellos que se transfieren energía (para producción de vapor) o bien de retiran energía al agua (servicio de agua de enfriamiento) y se alimentan del agua acondicionada previamente.

IV. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN NECESARIA

3. El agua proveniente de los consumidores intermedios se envía finalmente a los consumidores finales, es decir a las plantas de proceso. Se define además que el consumo total de agua es requerimiento de las plantas de proceso.
4. Este diagrama se concluye con el llenado de una forma (Forma FN-001) en la que se enlistan todas las fuentes y los consumidores de agua y vapor en el sistema.



Diagrama 1. Distribución de agua en una planta química

de las unidades que consumen vapor, el manejo de los condensados y cualquier equipo auxiliar participante.

Los diagramas deberán elaborarse en base a la información proporcionada por la empresa a quien se realice el trabajo, el procedimiento a seguir es el siguiente.

1. El primer paso consiste en identificar a los consumidores primarios que se encargan de acondicionar el agua de alimentación a la caldera y elaborar una lista de ellos, posteriormente identificar y listar a todos los equipos que se encarguen de la producción de vapor, finalmente se procederá al listado de aquellos que en el proceso participan como consumidores finales. Una vez que se tengan identificados todos los equipos del sistema global, se procede a elaborar los diagramas.
2. El diagrama del sistema de desmineralización se refiere a todos los equipos que participen en el proceso de la desmineralización, hasta antes de enviar el agua tratada al sistema de generación de vapor. El diagrama elaborado deberá mostrar todos los equipos presentes en las listas elaboradas y sus interconexiones entre sí.
3. De igual manera se elabora el diagrama del sistema de generación de vapor, en el cual se deben incluir todos los equipos encargados de la generación de vapor, unidades que consuman vapor, manejo de condensados y equipos auxiliares.
4. Finalmente se elaborará una pequeña descripción de los sistemas en base a la información recopilada.

Los ejemplos de los diagramas elaborados para un sistema de desmineralización y del sistema de generación de vapor se muestran en los Diagramas 2 y 3.

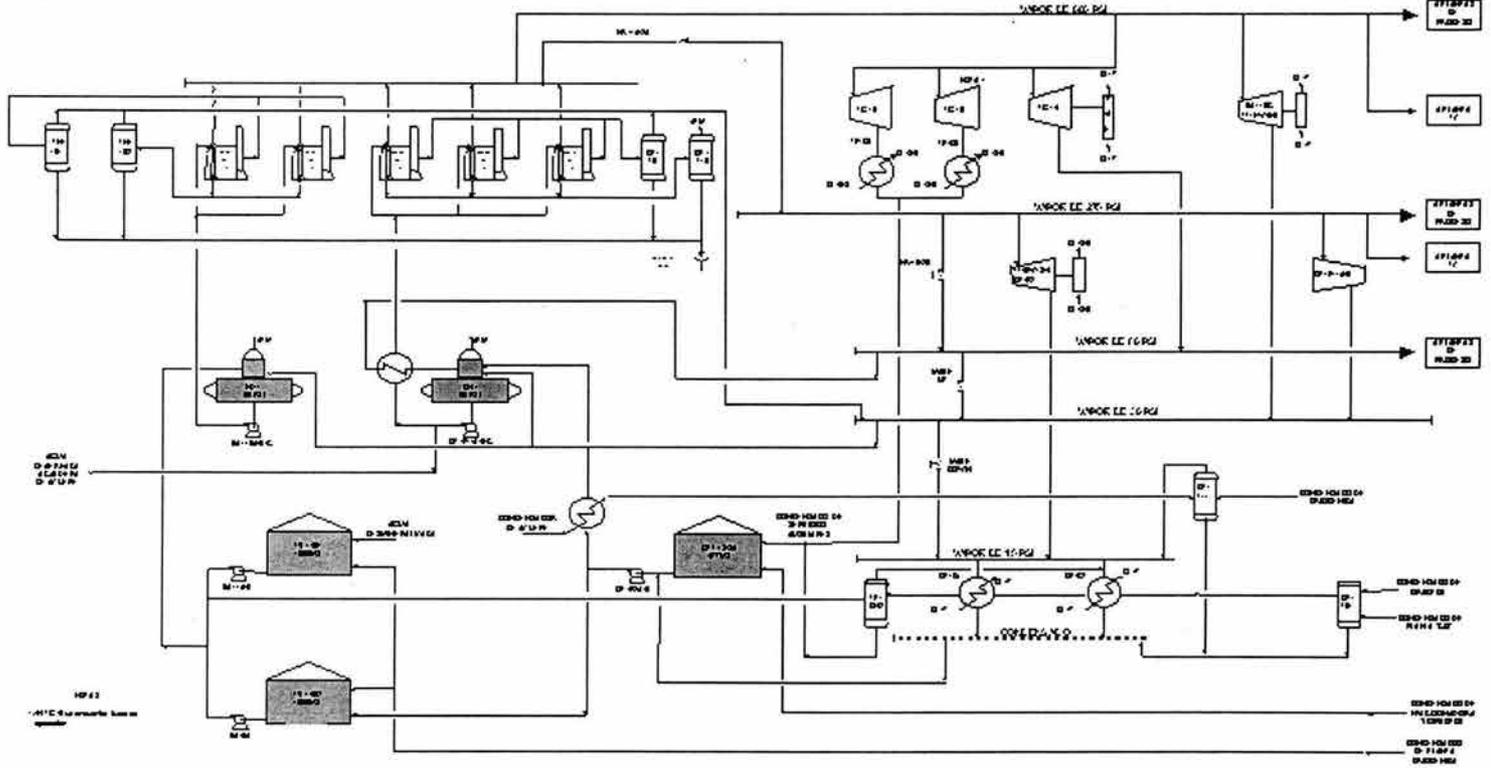


INDICE

FECHA

NOMBRE DEL PROYECTO

No. PROYECTO



REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ	No. PROYECTO
A						
B						

Diagrama 2. Sistema de generación de vapor

4.4. LEVANTAMIENTO EN CAMPO

Este tipo de levantamiento tiene como objetivo el obtener información acerca del estado físico de los equipos, de las corrientes y de las prácticas operativas aplicadas, de verificar la vigencia de la documentación recopilada, así como identificar la infraestructura que no se encuentra documentada o que en su caso presenta desviaciones. El levantamiento en campo es realizado por un grupo de trabajo experimentado que debe acudir a la ubicación física de la planta e ingresar a las instalaciones para realizar este trabajo. El objetivo de equipo de levantamiento en campo es el obtener la información necesaria para la realización del estudio para el que se esté trabajando. El éxito de esta actividad va ligada al trabajo en equipo del grupo de proceso y del grupo de campo (quien realiza el levantamiento en campo, muestreos y aforos). Previamente al levantamiento en campo se deberán conocer las medidas de seguridad que se deben seguir dentro de las instalaciones, así como todos los permisos que se deben solicitar para poder realizar actividades dentro de las mismas, estos procedimientos se discuten Apartado 4.4.4.

4.4.1. LEVANTAMIENTO DE EQUIPOS Y CORRIENTES

Este tipo de levantamiento requiere el llenado de formatos específicos en los que se busca obtener toda la información referente a un equipo y la confirmación de la existencia de líneas del proceso. En el Apéndice IV se muestra el formato para el levantamiento de equipo y corrientes.

4.4.2. LEVANTAMIENTO FOTOGRÁFICO

El levantamiento fotográfico de los equipos debe ser realizado a la par que el levantamiento de equipos y corrientes, la información obtenida deberá ser reportada en documentos específicos llamados hojas de levantamiento fotográfico (Apéndice V) con el firme propósito de documentar el sitio. Se sugiere aplicar el siguiente procedimiento para el levantamiento fotográfico:

1. Tomar las fotografías del sitio en cada visita que se lleve a cabo desde los puntos previamente establecidos y fijos, sin que sufran alguna alteración o desplazamiento. El punto de la foto seleccionado se determina de forma natural, tomando como referencia un árbol o una roca de tamaño regular.

IV. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN NECESARIA

2. Se deberán tomar fotografías complementarias o adicionales si se observa la existencia de cambios significativos en la zona y los alrededores del punto seleccionado, es decir, erosión excesiva del canal, asolvamiento intenso, construcción reciente y otros cambios biológicos o ecológicos que requieran documentarse previamente. En las fotografías obtenidas se deberán destacar los aspectos que posiblemente cambien la calidad del agua.
3. Las diapositivas reveladas deberán tener la identificación del sitio, el nombre del sitio, la fecha y hora, así como la orientación de la foto con respecto al norte geográfico, o con respecto a los puntos de referencia definidos y que fueron citados en los párrafos anteriores.
4. La empresa quien realiza el muestreo deberá tener el negativo original de las fotografías obtenidas.
5. Se recomienda colocar las diapositivas de cada sitio, en un guarda papeles transparente de 8-1/2 x 11 pulgadas (21.6 x 27.9 mm) y archivarlos en un lugar seguro y adecuado.
6. En la última visita que se realice al sitio, se deberán tomar nuevamente las fotografías repitiendo la misma mecánica a partir de las que fueron tomadas en la primera visita, esto es desde los mismos puntos originales de la toma de la fotografía con la finalidad de documentar los cambios que se hayan suscitado durante el tiempo transcurrido de una toma a otra.
7. Se deberá tener especial cuidado en el control y mantenimiento de los archivos. La existencia de archivos completos y precisos con esenciales para el buen desarrollo y resultado del dictamen.

Las hojas de levantamiento deben ser recopiladas por el personal de campo y entregarlas en carpetas ordenadas para su posterior utilización. Se deberá tener especial cuidado al momento de llenado de las hojas de levantamiento, se recomienda escribir con letra legible y tratar de incluir todos los detalles posibles acerca del equipo sin pasar por alto cualquier tipo de observación por simple que parezca.

4.4.3. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE DRENAJES

Las purgas, aguas de retrolavados entre otras descargas se envían directamente a los drenajes existentes, estos pueden ser drenaje pluvial, sanitario, industrial y químico. El drenaje pluvial es el que recolecta y conduce aguas libres de contaminación por hidrocarburos, productos tóxicos, corrosivos, aguas negras y jabonosas. El drenaje sanitario es el que recolecta y conduce las aguas negras y jabonosas. El drenaje industrial es el que recolecta hidrocarburos no corrosivos o tóxicos, provenientes de las purgas de equipos y tuberías en los casos de mantenimiento de los mismos y por último el drenaje químico es el que recolecta hidrocarburos y conduce aguas contaminadas con productos tóxicos y/o corrosivos.

El agua de los drenajes debe cumplir con cierta normatividad, por lo que es necesario el levantamiento en campo de los drenajes existentes para así programar puntos de monitoreo para conocer la calidad del agua. El levantamiento topográfico consiste en la ubicación de los drenajes existentes, la recopilación de la información referente al estado físico de la infraestructura de los mismos y los daños identificados en campo. Es también necesario conocer las aportaciones de los sistemas de desmineralización y generación de vapor a los drenajes (En el Apéndice VI, se incluyen formatos para el levantamiento topográfico). El levantamiento topográfico incluirá el tipo de registro, coladeras, trincheras, bocas de tormenta, copas de purgas y otras obras auxiliares o complementarias que se identifiquen durante el levantamiento topográfico, adicionalmente, para cada tramo entre registros, se especificará la longitud, pendiente hidráulica, diámetro y material de la tubería y en cada registro se indicarán las elevaciones del fondo del registro, de plantilla en la llegada de cada tubería y de tapa o brocal.

4.4.4. SEGURIDAD EN CAMPO

Cuando se desea ingresar a las instalaciones de una planta para realizar acciones de levantamiento, campañas de muestreo o aforo, actividades relacionadas con el levantamiento fotográfico o incluso visitas al campo, es necesario cumplir con las normas internas de cada lugar. Si el personal que realiza el trabajo es ajeno a la planta entonces este deberá solicitar mediante los trámites respectivos el permiso de acceso a la planta y permiso para realizar actividades dentro de ésta.

IV. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN NECESARIA

Deberá cumplir con los reglamentos internos de seguridad e higiene para el acceso a la planta y la realización de algún trabajo dentro de ella, en el Apéndice VII se muestra un documento de instrucciones genéricas en materia de seguridad, salud y protección ambiental dentro del complejo, de las que el personal que ingrese al complejo deberá tener conocimiento previo.

Los reglamentos de seguridad e higiene y los reglamentos para contratistas (la UNAM es contratista del Centro Procesador de Gas), son específicos para cada empresa. Así mismo, los procedimientos para la solicitud de acceso y permiso para realizar actividades dentro de las instalaciones pueden variar, por lo que se recomienda estar informado acerca de los requerimientos de la planta en cuestión.

El equipo mínimo de seguridad que se debe portar al momento de ingresar a las instalaciones es el que a continuación se lista:

1. Casco
2. Lentes de seguridad (goggles)
3. Pantalón de algodón
4. Camisa de algodón manga larga
5. Botas con casquillo antiderrapante
6. Identificación oficial

Tomando en cuenta de que la colecta de las muestras se realizará en sitios contaminados o en lugares remotos, lejos de atención médica inmediata, es importante tener presente lo siguiente:

1. Recibir entrenamiento personal de seguridad, a un nivel apropiado para los distintos tipos de sustancias químicas que se pueden encontrar.
2. Consultar los reglamentos de seguridad e higiene proporcionados por la empresa para el acceso a la planta.
3. Nunca deberá salir al campo una sola persona, sin haber comunicado su ubicación a sus compañeros.
4. Determinar la ubicación del hospital o clínica más próxima al lugar de la toma de muestras o de algún medico que pueda ofrecer servicio inmediato.

5. Se recomiendan la aplicación de las vacunas de tétano, hepatitis B y fiebre tifoidea, en este ultimo caso de que sé este cerca de aguas contaminadas.
6. Es importante informar a otros compañeros de su itinerario y ubicación exacta.
7. Se recomienda tomar las precauciones de animales como reptiles venenosos o arácnidos.
8. Si es posible, llevar consigo un medio de comunicación rápida tales como teléfono celular (en caso de ser permitido) o radio de comunicación.
9. Cuando se manejan preservadores, como el ácido, siempre se deberá utilizar lentes de seguridad y guantes nuevos los cuales libres de contaminación.

4.5. DISEÑO DE LAS CAMPAÑAS DE MUESTREO Y AFORO

La caracterización de las corrientes de agua de los productores así como de los consumidores es una actividad que debe ser planeada con anticipación para asegurar que al finalizar ésta, se hayan cubierto todas las necesidades de información que sean de utilidad en la elaboración del dictamen. Sé deberá realizar previo a los trabajos de monitoreo o muestreo de aguas, una revisión minuciosa de los puntos en que la obtención de una muestra sea fundamental para el dictamen. Se recomienda establecer en un diagrama las estaciones o puntos seleccionados, para facilitar el desarrollo de la actividad. Este diagrama será validado por parte de la empresa interesada en conocer que características tienen su agua de proceso o su agua que esta descargando hacia alguna fuente.

4.5.1. ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MUESTREO ¹⁰

Para tener acceso a las instalaciones y llevar a cabo los muestreos necesarios se debe estructurar un plan de muestreo. Una vez elaborado deberá ser enviado a la gerencia responsable del centro de trabajo para su aprobación correspondiente, como una buena práctica operativa es recomendable la elaboración de un plan de muestreo aunque este no requiera de autorización oficial. De entre las ventajas de elaborar un plan de muestreo se encuentra la de ahorrar tiempo al conocer la zona que se visita, al igual que puede ser utilizado en posteriores muestreos. Tenga en cuenta los objetivos del muestreo de tal manera que no sean malgastados, tiempo y dinero a través de la adquisición de datos que son demasiado precisos o no lo suficientemente precisos para sus objetivos.

Los partes principales que deberá contener un plan de muestreo se mencionan a continuación:

- I. Objetivos.
- II. Investigaciones Anteriores.
- III. Mapas.
- IV. Justificación.
- V. Solicitud de Análisis.
- VI. Métodos y Procedimientos de Campo.
- VII. Plan de Salud y Seguridad.

4.5.2. SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES POTENCIALES DE MUESTREO¹⁰

Para la correcta elección de las estaciones potenciales de muestreo es de gran utilidad la información que se solicita a la planta y el esquema del sistema de generación de vapor elaborado en el Apartado 4.3.

El análisis de esta información puede revelar la necesidad de establecer nuevas estaciones de monitoreo, para lograr satisfactoriamente los objetivos que se persiguen en el muestreo de aguas. Una estación queda definida como el sitio específico cerca de, o en un cuerpo de agua determinado en el cual se obtiene una muestra de agua. Su ubicación es importante para el éxito del programa de muestreo o monitoreo. Para ser precisas las estaciones de muestreo, deberán ser determinadas en localizaciones óptimas dentro del sistema de flujo hidrológico, con la finalidad de evaluar la calidad del agua y detectar contaminación de las fuentes “punto” o distribuidas.

Se debe poner atención en la ubicación de efluentes y el acceso a la estación, así como el acceso a todas las descargas importantes por lo que a partir del plano de drenajes proporcionado por el Centro Procesador de Gas se debe seleccionar los sitios de muestreo y aforo.

Se recomienda el monitoreo en algunos puntos de las líneas de condensados, teóricamente el vapor al condensarse produce un agua de alta calidad, pero durante su recorrido hasta llegar de nuevo al tanque de almacenamiento para su reutilización esta

puede contaminarse y necesitar un tratamiento de desmineralización. Los condensados recuperados pueden aumentar el pH de la corriente de alimentación a la caldera (por oxigenación y descomposición de este formando HCO_3^-). En los Diagramas 4 y 5 se muestran los puntos de monitoreo recomendados en los sistemas de generación de vapor y desmineralización.

4.5.3. RECOMENDACIONES PARA EL MUESTREO EN CAMPO¹⁰

Para realizar actividades de muestreo en campo es conveniente tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Se deberán tener bien claros los objetivos del plan de tal manera que no sean malgastados los recursos tales como el tiempo y el dinero, a través de la adquisición de datos que no colaboren el cumplimiento a los objetivos trazados.
2. La obtención de muestras representativas comúnmente requieren de realizar previamente de un programa de provisiones y de equipo. Esto es recomendable debido a que en algunos casos la distancia entre el sitio de muestreo y las oficinas o centro de reunión es grande.
3. Se recomienda recoger, revisar y calibrar el equipo dentro de las 24 horas anteriores al empleo en el muestreo. Además, es importante recalibrar los medidores de pH y de oxígeno disuelto, en el campo, antes de ser usados en la obtención de la muestra.
4. Se recomienda revisar todo el equipo electrónico y estar seguro que las baterías con las que operan se encuentren en condiciones apropiadas para su empleo. Se tendrá que inspeccionar la separación de las columnas en los termómetros de vidrio para asegurar que la lectura medida es la correcta.
5. Se deberá estar seguro de que el largo de la tubería es suficiente para alcanzar las profundidades deseadas en la toma de la muestra de agua.
6. Se sugiere descartar la tubería y los cables que se encuentren o se observen agrietados o descolorados por el tiempo.

7. El obtener una muestra representativa, es función también de la cuidadosa elección del equipo de campo adecuado.
8. Si se va a muestrear agua en presencia de metales, se recomienda no usar equipo de muestreo con componentes metálicos. Así mismo cuando se en el muestreo del agua para presencia de elementos orgánicos, se deberá evitar el uso de equipo de muestreo con componentes plásticos, puesto que este material en particular puede absorber y contaminar las muestras obtenidas.
9. Es importante, siempre limpiar el equipo antes y después de ser utilizado mediante el enjuague apropiado, una vez hecho esto se sugiere envolver el equipo limpio inorgánico, en papel celofán y el equipo limpio orgánico en papel aluminio, para llevar a cabo el transporte seguro al sitio de muestreo.

4.5.4. GENERACIÓN DE ARCHIVOS DE INFORMACIÓN RECOPIADA¹⁰

Actualmente la colecta de muestras en el campo, requiere de la documentación adecuada para la certificación y control de calidad. Se recomienda mantener un archivo por separado en la oficina, para cada estación.

El archivo de la estación del muestreo deberá contener apuntes detallados que describan cómo se tomaron las muestras, medidas de campo, análisis de laboratorio, solicitud de permisos, registros de la cadena de custodia, mapas, fotografías y correspondencia. Es necesario que estos registros sean legibles y completos como sea posible ya que son de mucha importancia como documentos oficiales y legales. La ubicación, seguridad y supervisión del archivo tiene que ser descrita claramente.

El proceso de anotación se puede acelerar si una persona es la que lleva a cabo el muestreo mientras que otra persona toma las notas necesarias. Se recomienda hacer el vaciado en algún formato previamente preparado.

Se recomienda seguir el siguiente orden.

1. Identificación del muestreador.
2. Hora y fecha del muestreo.

3. Condiciones climatológicas importantes, anteriores y actuales.
4. Descripción del muestreo (tipo, simple o compuesto).
5. Ubicación del sitio.
6. Identificación de la muestra.
7. Datos importantes del sitio.
8. Métodos y resultados de las medidas de campo como es el aspecto de la muestra.
9. Método(s) de muestreo.
10. Razón de muestreo.
11. Tipo de análisis para las muestras colectadas.
12. Firmas de las personas que escriben en la libreta de campo.
13. Métodos de conservación de la muestra.
14. Observaciones y comentarios.
15. Ubicación de las muestras duplicadas.
16. Resultados de la calibración de los medidores de campo.

4.5.5. FORMATO DE CUSTODIA¹⁰

Debido a que una muestra es la evidencia física, se usan los procedimientos de formato de custodia para mantener y documentar la posesión de la muestra desde la hora en que se colecta esta hasta que se introduzca como evidencia. Los requisitos del formato de custodia varían entre agencias o laboratorios prestadores del servicio. Sin embargo, estos procedimientos son similares y el formato de custodia mostrado en este procedimiento, sirve solamente como una guía. Para tal efecto se recomienda consultar con el responsable del proyecto para tener actualizados los requisitos específicos.

Si una muestra está “en custodia”, esto quiere decir que se tiene la posesión física de una muestra, y en todo caso se sella para prevenir la falsificación.

Por lo tanto, el registro de un formato de custodia, empieza a partir de cuando se reciban los envases de muestra del laboratorio quien realizara la toma. Desde este punto de vista, un registro del formato de custodia se acompañará a los envases de muestra.

Se deberán manejar las muestras lo menos posible en el campo. Cada muestra de custodia requiere un registro de formato de custodia y podría requerir un sello. En caso de

que no se sellen las muestras individuales, se recomienda sellar los envases en las cuales se envían las muestras.

Cuando las muestras se cambian de posición, las dos personas involucradas en el cambio, deberán firmar y poner la fecha y la hora en el registro de formato de custodia. Si un consignatario de embarques no firma estas, se deberán sellar las muestras y los documentos del formato de custodia en una caja o hielera con sellos de botella o cinta de evidencia. El recipiente sujetará las hojas de formato de cambio. Si se dividen las muestras y se mandan a más de un laboratorio, se deberá preparar un formato de cadena por separado para cada muestra. Si se hace la entrega de las muestras a un depósito nocturno, anotar en el registro de custodia y colocar las muestras con el registro en las cajas selladas.

4.5.6. PROCEDIMIENTOS PARA EL MUESTREO EN CAMPO¹⁰

Las muestras obtenidas deben ser enviadas a laboratorios certificados para que procedan a la caracterización de las mismas, en el Apéndice VIII se enumeran algunos de los laboratorios aprobados por la EMA (Entidad Mexicana de Acreditación) vigentes al 2003 recomendables para este trabajo, de igual manera en el Apéndice IX se encuentran algunos formatos de toma de muestras y los documentos de caracterización de muestras

Considerando que ciertos compuestos requieren de métodos diferentes, para el muestreo, se recomienda consultar al laboratorio que hará el trabajo de los análisis, para que indique referencias respecto al tipo y volumen de envases, preservación y tiempo de vigencia, descripciones claras de los analitos elegidos, tiempos de vigencia, su razón, y los preservados que se van a utilizar, los cuales deberán ser incluidos en el plan de muestreo antes de coleccionar las muestras.

En el Apéndice X se describe el orden de recolección de muestras y los procedimientos a seguir para su recolección, según las metodologías de la EPA (Environmental Protection Agency) para muestras acuosas. Se incluye además la lista de provisiones con que debe contar el muestreador, los procedimientos para la limpieza del equipo de muestreo y los procedimientos para la calibración del equipo.

4.6. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN HISTÓRICA RECOPIADA

La información histórica contiene datos de 5 años a la fecha de elaboración del dictamen, por lo que para su uso e interpretación se debe organizar de forma tal que arroje una tendencia o comportamiento del sistema durante ese periodo de tiempo.

4.6.1. ELABORACIÓN DE LAS GRÁFICAS DE FLUJOS HISTÓRICOS

La forma de organización más adecuada para la interpretación de la información histórica recopilada de los flujos del sistema, es la elaboración de gráficas de Flujo vs Tiempo para cada uno de los siguientes puntos durante los 5 años de los cuales se posea información.

- **Suministro de agua a los sistemas de desmineralización y generación de vapor.**
- **Producción de vapor**
- **Consumo de Vapor**
- **Condensados Recuperados**
- **Agua de Repuesto**

El procedimiento para la elaboración de las gráficas y su reporte se describe a continuación:

1. El primer paso es identificar y separar la información de flujos históricos para cada uno de los puntos mencionados.
2. Una vez separada la información esta debe ser organizada en una carpeta foliada en donde se elabore un índice que facilite la búsqueda de la información en cualquier momento deseado.
3. Se recomienda utilizar el programa Excel para la elaboración de las gráficas de flujos históricos, debido a su fácil manejo y al rápido acceso a los datos de origen.
4. En el eje “x” se colocan los meses de un año para los que se tenga valor histórico y en el eje “y” se los valores de los flujos para cada periodo de tiempo.

IV. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN NECESARIA

5. Se deben incluir todos los datos existentes, colocar leyendas y notas necesarias para asegurar la claridad de la gráfica y su fácil interpretación.
6. Estas gráficas se deben elaborar para cada año que se posea información, en este caso 5 años.

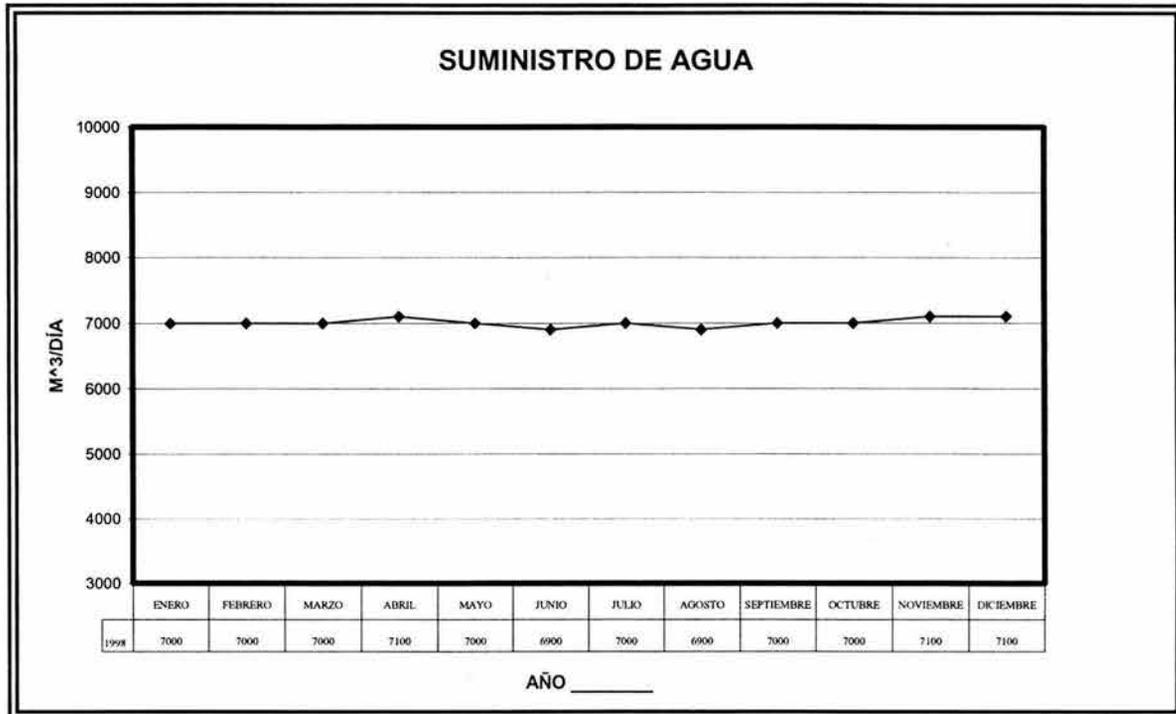


Figura 4.1. Gráfica ejemplo de flujo vs. tiempo para el suministro de agua a un sistema.

4.6.2. ELABORACIÓN DE LAS GRÁFICAS DE COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE LOS PARÁMETROS CRÍTICOS

La elaboración de las gráficas del comportamiento histórico de parámetros críticos del sistema de desmineralización y generación de vapor se realiza de forma similar a las gráficas anteriores, en este caso la columna de flujo se cambia por valores de los parámetros históricos.

Para el sistema de desmineralización se deben elaborar gráficas para los parámetros siguientes:

Tabla 12. Corrientes críticas del sistema de desmineralización^{3,5,7}

SISTEMA DE DESMINERALIZACIÓN	
PARÁMETRO	CORRIENTES
DUREZA	SALIDA DE UNIDAD CATIONICA
	SALIDA DE UNIDAD ANIONICA
ACIDEZ LIBRE MINERAL	SALIDA DE UNIDAD CATIONICA
CONDUCTIVIDAD	SALIDA DE UNIDAD ANIONICA
SÍLICE	SALIDA DE UNIDAD ANIONICA
pH	SALIDA DE LA PLANTA DESMINERALIZADORA

En el caso del SGV los puntos de interés se listan a continuación:

Tabla 13. Corrientes críticas del sistema de generación de vapor^{3,5,7}

SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR	
PARÁMETRO	CORRIENTES
SDT	ENTRADA A CALDERAS
OXÍGENO	SALIDA DE DEAERADOR
DUREZA TOTAL	ENTRADA A CALDERAS
SÍLICE	ENTRADA A LAS CALDERAS
FIERRO	RETORNO DE CONDENSADOS
FOSFATOS	ENTRADA A CALDERAS

4.6.3. COMPARACIÓN DE FLUJOS HISTÓRICOS Y AFORADOS

La comparación de flujos históricos y aforados se realiza mediante una matriz como la que se muestra en la Figura 4.2, a esta matriz se le denominará matriz de flujos históricos y aforados. Esta matriz se debe llenar para todas las corrientes del sistema de generación de vapor y del sistema de desmineralización con los valores de los flujos de las corrientes que se tengan datos históricos o de monitoreos.

IV. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN NECESARIA

campañas y datos históricos y además que se incluyera la frecuencia de incidencia de cada valor. Esta tabla fue llamada “Matriz de incidencia de contaminantes”.

La frecuencia de las mediciones reportadas fue establecida mediante un código de colores, este código contiene los intervalos de frecuencia de las mediciones realizadas para cada contaminante, en la Figura 4.3 se muestra el índice de colores propuesto, de los colores propuestos se observa un espacio de color blanco que se refiere a los parámetros que no son muestreados en campo. La matriz de incidencia de contaminantes incluyó información para cada corriente o punto de muestreo y para cada semestre correspondiente a la temporada de estiaje o lluvia. El formato de la matriz propuesta se muestra en la Figura 4.4

Se puede observar en la tabla de la Figura 4.4 que la matriz de incidencia hace una comparación de los parámetros para cada año del cual se posea información. Como hay dos periodos de muestreo al año se realizan dos matrices de incidencia de contaminantes, una matriz de incidencia de contaminantes para el periodo de estiaje y una matriz de incidencia de contaminantes para el periodo de lluvia. Los parámetros poblacionales de interés son las medidas de posición central, extremos y dispersión por lo que los parámetros de mayor interés son el promedio y la desviación estándar, además de los valores máximo y mínimo para cada parámetro. Con los datos históricos se calculan los valores de cada parámetro reportado por año.

ÍNDICE DE COLORES	
COLOR	FRECUENCIA DE MEDICIONES REPORTADAS
GRIS	0
VERDE	1 - 50
VIOLETA	51 - 100
AMARILLO	101 - 150
AZUL	151 - 183
BLANCO	PARÁMETRO NO CONSIDERADO

Figura 4.3. Índice de colores para matriz de incidencia de contaminantes

Año		PARÁMETROS																									
F. CORR.		F	M	STD	44H-PO-	D.T.	SiO ₂	pH	TURB.	Cl-	R	OH	D. Ca.	SO ₄	O ₃	IE	CO ₂	AL.M	Cl ₂	IL	POSF	ZINC	POLYA.	C.C.	CrO ₆		
		Hm. CaCO ₃	Hm. CaCO ₃	Hm.	Hm.	Hm. CaCO ₃	Hm.		NT.U.	Hm.	Hm.	Hm. CaCO ₃	Hm. CaCO ₃	Hm. CaCO ₃	Hm.	Hm.	Hm.	Hm.	Hm.	Hm.	Hm.	Hm.	Hm.	Hm.	Hm.		
1997	PK/CM																										
	MAX																										
	MIN																										
1998	PK/CM																										
	MAX																										
	MIN																										
1999	PK/CM																										
	MAX																										
	MIN																										
2000	PK/CM																										
	MAX																										
	MIN																										
2001	PK/CM																										
	MAX																										
	MIN																										

Figura 4.4. Matriz de Incidencia de Contaminantes.

4.6.5. COMPARACIÓN DE PARÁMETROS HISTÓRICOS Y CAMPAÑAS DE MUESTREO

Los valores de los parámetros obtenidos de la construcción de la matriz de incidencia de contaminantes pueden ahora ya ser utilizados en la caracterización de las corrientes del sistema, el procedimiento consiste en la de obtener el valor más representativo de cada parámetro en una corriente a partir de los valores históricos y de las tres diferentes campañas de muestreo realizadas. Es aquí cuando se tiene que recurrir a la implementación de criterios para ayudar en la comparación de estos valores y la elección del que represente correctamente un parámetro en una corriente.

En la Figura 4.5 se muestra la matriz para la caracterización de corrientes, que se empleó en el momento de selección de cada parámetro, incluye las mediciones históricas y experimentales para cada parámetro medido, en la columna de REPRESENTATIVO se escribe la ponderación obtenida para el parámetro y en la siguiente columna el criterio de selección de dicho valor, estos criterios de selección se discuten más adelante.

Para la realización de este trabajo se toman en cuenta además las siguientes consideraciones:

- El principio de conservación de la materia se debe cumplir para todos los casos.
- Los diferentes equipos del proceso modifican la calidad del agua que entra, la calidad del agua puede disminuir o aumentar de acuerdo al proceso que se lleve a cabo.
- En algunos casos al haber tan sólo un cambio de fase, la calidad del agua permanece constante, al igual que en algunos divisores de corrientes.
- Los valores de los parámetros de las corrientes deberán cumplir con los principios de la electroneutralidad, esto es que las moles de los cationes disueltos debe ser igual a la de los aniones en la corriente.

Procedimiento de selección del valor más representativo para cada parámetro

Para la selección de los valores se utiliza el término **Coefficiente de desviación**, que relaciona la desviación estándar de los datos históricos(o de los datos obtenidos en campañas) y el promedio de éstos. El coeficiente de desviación será utilizado como base para la selección del valor más representativo de cada parámetro.

1. Si el coeficiente de desviación obtenido de la información histórica es menor al 15%, el dato histórico se considera aceptable y por tanto no es necesario incluir los datos de las campañas, tomando en consideración exclusivamente el promedio histórico.

$$\text{Coeficiente de desviación} = \left(\frac{100 \times \text{desviación standar}}{\text{promedio}} \right)$$

En la Figura 4.5 los valores que cumplen con este criterio aparecen con la leyenda:

“Coeficiente Válido”

2. Si el primer criterio no se cumple, entonces se toma en cuenta el promedio histórico y se promedia con las campañas que cumplan con la siguiente relación:

$$\text{Promedio Histórico} - \text{Desviación Std.} \leq \text{Valor Campaña} \leq \text{Promedio Histórico} + \text{Desviación Std.}$$

En la Figura 4.5 los valores que cumplen con este criterio aparecen con la leyenda:

“Ponderado con Criterio 1”

3. Si ninguna campaña cumple con el requisito anterior, se amplía el intervalo de aceptación con la siguiente relación:

$$\text{Mínimo Histórico} \leq \text{Valor Campaña} \leq \text{Máximo Histórico}$$

En la Figura 4.5 los valores que cumplen con este criterio aparecen con la leyenda

“Ponderado con Criterio 2”

IV. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN NECESARIA

MATRIZ PARA LA CARACTERIZACIÓN DE CORRIENTES														
VALOR		PARÁMETROS	HISTÓRICO (PERIODO 5 AÑOS)						EXPERIMENTAL				REPRESENTATIVO	CRITERIO CONSIDERADO
ALIAS	No. CORRIENTE		NÚMERO DE MEDICIONES	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO	DEVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	1ª CAMPAÑA	2ª CAMPAÑA	3ª CAMPAÑA	PROMEDIO	PONDERACIÓN	
		F ppm CaCO3												
		M ppm CaCO3												
		STD ppm												
		N2H4												
		PO4												
		D.T. ppm CaCO3												
		SiO2 ppm												
		pH												
		TURB. N.T.U.												
		Cl- ppm												
		Fe ppm												
		OH- ppm CaCO3												
		D. Ca. ppm CaCO3												
		SO4 = ppm												
		O2 ppm												
		I.E.												
		CO2 ppm												
		A.L.M.												
		Cl2 ppm												
		I.L.												
		FOSF ppm												
		ZINC ppm												
		POLYA ppm												
		C.C.												
		CrO4 ppm												

Figura 4.5. Matriz para la caracterización de corrientes.

4. Si ninguna campaña cumple con los requisitos anteriormente establecidos, o en su defecto no existe campaña para ese parámetro, el procedimiento es usar únicamente:

Valor histórico

En la Figura 4.5, los valores que cumplen con este criterio aparecen con la leyenda:

“Promedio Histórico”

5. Si no existía dato histórico, pero había datos de las campañas, se tomaron los datos del promedio de estas.

En la Figura 4.5, los valores que cumplen con este criterio aparecen con las leyendas:

“No hay Muestreo ni histórico” **“Solo hay Muestreos”** y **“Solo hay históricos”**

según sea el caso de cada ponderación.

6. Hay un caso especial adicional, se indica con el letrero;

“Calculado con el Balance”

este valor se calcula con un balance de materia, por lo que será tarea del equipo que realice el balance la selección de este valor.

Los valores de esta tabla representan el mejor valor estadístico conforme a la información reunida, sin embargo, estos todavía deben someterse a un proceso de revisión, debido a que el error experimental siempre está presente, además de los diferentes tiempos de muestreo entre una corriente y otra, tanto en las campañas realizadas por el proyecto como las de información histórica.

Por esta razón se recurre a la aplicación de criterios de proceso que modifican los valores obtenidos por el procedimiento anterior para tratar de conciliar las diferencias mostradas por los análisis experimentales e históricos. Otro caso en que es necesario usar algún criterio de proceso es cuando no se tiene ningún valor sobre un parámetro en alguna corriente y que por los equipos por donde pasa no afectan dicho parámetro o se sabe en que medida se ve afectado, es entonces cuando se propone el nuevo valor, aún sin tener valor histórico o de campañas de muestreo en esa corriente.

Para finalizar se debe comprobar que todas las corrientes cumplan con el principio de electroneutralidad, esto es que en una misma corriente la sumatoria de cationes sea igual a la sumatoria de los aniones. Sin embargo dar una caracterización que esté de acuerdo a los valores de las ponderaciones, la electroneutralidad, que cumplan con el balance de materia y sean valores lógicamente posibles constituye un problema difícil de resolver, por lo que estos problemas deberán ser resueltos después de la elaboración del balance de materia de todo el Centro Procesador de Gas.

4.7. INTEGRACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

El análisis de la información del sistema tiene como objetivo la integración de toda la información recopilada sobre los sistemas de estudio y la rectificación de la información existente. La utilidad de elaborar un documento con esta información es la de facilitar su consulta cuando se proceda a la elaboración del dictamen de generación de vapor por lo que esta integración debe ser clara y precisa.

Se propone la evaluación física como punto de partida del análisis de la información, seguida del análisis de la demanda de agua a los sistemas en donde se especifican todos los consumidores y productores de vapor. Para fines de interpretación y análisis de los datos históricos se procede a la elaboración de gráficas de flujos y parámetros críticos históricos de los sistemas.

4.7.1. ELABORACIÓN DEL INFORME TÉCNICO DEL SISTEMA

- a) **Evaluación física del sistema:** La evaluación física del sistema propone la descripción de todos los equipos que integran el sistema (desmineralización). Para realizar esta actividad se debe emplear la información histórica y rectificar con la información del levantamiento en campo. En la forma siguiente se deben colocar todos los equipos con la información correspondiente.

FN-002	EVALUACIÓN FÍSICA DEL SISTEMA DE _____
--------	---

EQUIPO	TAG	SERVICIO	CAPACIDAD	DIMENSIONES	PRESIÓN	DATOS DE DISEÑO	OBSERVACIONES

IV. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN NECESARIA

b) Demanda de agua a los sistemas.

FN-003	DEMANDA DE AGUA AL SISTEMA DE _____					
ALIMENTACIÓN DE AGUA AL SISTEMA						
CORRIENTE	FLUJO					OBSERVACIONES
	DATOS HISTÓRICOS	CALCULADO*	CAMPAÑAS DE MUESTREO			
			1ra	2da	3ra	
SALIDA DE AGUA DEL SISTEMA						
CORRIENTE	FLUJO					OBSERVACIONES
	DATOS HISTÓRICOS	CALCULADO*	CAMPAÑAS DE MUESTREO			
			1ra	2da	3ra	
NIVEL DE OPERACIÓN** DEL SISTEMA						
EQUIPO	TAG	NIVEL DE OPERACIÓN				

*Este valor se incluirá una vez que se haya realizado el balance de materia del proceso

**El nivel de operación de la planta se considera como el porcentaje del flujo al que se opera entre el flujo de diseño.

c) Dosificación de químicos al sistema

FN-004	DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS AL SISTEMA DE _____			
NOMBRE	DESCRIPCIÓN	CONCENTRACIÓN	PUNTO DE APLICACIÓN	FORMA DE DOSIFICACIÓN

IV. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN NECESARIA

d) Instrumentación y control.

FN-005	INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DEL LOS EQUIPOS DEL SISTEMA DE
---------------	---

EQUIPO	TAG	LOCALIZACIÓN	INSTRUMENTACIÓN	
			NOMBRE	FUNCIÓN

e) Prácticas operativas del sistema de desmineralización.

FN-006	FUENTE DE AGUA PARA LA REGENERACIÓN DE RESINAS
---------------	---

UNIDAD	TAG	No. DE TREN AL QUE PERTENECE	FUENTE DE SUMINISTRO DE AGUA				
			RETROLAVADO	DILUCIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO	DILUCIÓN DE SOSA CAÚSTICA	DESPLAZAMIENTO	ENJUAGUE

FN-007	TIEMPO DE OPERACIÓN DE LA PLANTA
---------------	---

No. TREN	TIEMPO DE OPERACIÓN	TIEMPO DE REGENERACIÓN

f) Prácticas operativas del sistema de generación de vapor.

FN-008	PURGADO					
UNIDAD	TAG	FLUJO DE LA PURGA DE DOMO (m ³ /d)	FLUJO DE LA PURGA DE FONFO (m ³ /d)	PURGA TOTAL (m ³ /d)	TIEMPO DE PURGADO	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

4.7.2. ACTUALIZACIÓN DE LOS PLANOS DE DRENAJE

Con base a la información del levantamiento topográfico se procede a la actualización de los planos de drenajes de los sistemas de generación de vapor y del sistema de desmineralización en el cual se mostrará el origen y destino de cada tramo de drenaje y de acuerdo con la simbología de las especificaciones del Centro Procesador de Gas, además se presentará el trazo detallado de la red de drenaje especificando su clasificación, drenaje químico, industrial, pluvial y sanitario.

Después del levantamiento topográfico se reporta la información referente a los registros existentes y su estado actual, el nombre del documento es “Código de daños y resultados”, a continuación se muestra la información que deberá contener dicho documento.

FN-009	CÓDIGO DE DAÑOS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE _____							
REGISTRO CLAVE	FORMA	TIPO DE MATERIAL	DIMENSIONES	ESTADO FÍSICO	REGISTRO AZOLVADO	PENDIENTE CORRECTA	OBSERVACIONES	CUMPLE ESPECIFICACIÓN

La actualización del plano de drenaje se realiza sobre el plano proporcionado por el Centro Procesador de Gas en la recopilación de información mediante el uso de autocad a escala correspondiente para que el plano drenajes de los sistemas de generación de vapor y desmineralización pueda ser integrado al Plano integral actualizado de drenajes, del Centro Procesador de gas de estudio.

**ELABORACIÓN DEL DICTAMEN DEL
SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR**

En este Capítulo se presenta el procedimiento para la elaboración del dictamen del sistema de generación de vapor en un Centro Procesador de Gas, los fundamentos teóricos en los que se basa se encuentran en el Capítulo II Y III, por otro lado en el Capítulo IV se describe el tratamiento que debe aplicarse a la información para que permita elaborar una descripción y la evaluación de todo el sistema de generación de vapor.

5.1. COMPONENTES DEL DICTAMEN

El dictamen del SGV debe contener una descripción del comportamiento del sistema y un informe técnico del mismo, que en conjunto permitan emitir una evaluación clara y veraz acerca del sistema, esta evaluación será quien marque la pauta para la elaboración de una lista de recomendaciones para el uso eficiente del agua del sistema. Los componentes que debe contener el dictamen del sistema de generación de vapor son los que a continuación se enlistan:

1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ESTUDIO.

- 1.1. Descripción del comportamiento del sistema de generación de vapor y desmineralización.
- 1.2. Informe Técnico de los sistemas.

2. EVALUACIÓN DEL SISTEMA.

- 2.1. Comparación de la calidad del agua de las corrientes principales con los parámetros deseables.
- 2.2. Ubicación de puntos críticos.
- 2.3. Análisis del tratamiento externo.
- 2.4. Análisis del tratamiento interno.
- 2.5. Evaluación del purgado.

3. RECOMENDACIONES SOBRE EL SISTEMA.

- 3.1. Recomendaciones al sistema de tratamiento externo.
- 3.2. Recomendaciones al sistema de dosificación de químicos.
- 3.3. Recomendaciones al sistema de purgado.

4. MEMORIA DE CÁLCULO

- 4.1. Memoria de cálculo de la unidad desmineralizadora
- 4.2. Memoria de cálculo de la dosificación de químicos

5. BIBLIOGRAFÍA

5.2. PROCEDIMIENTOS PARA LA ELABORACIÓN DEL DICTAMEN DE GENERACIÓN DE VAPOR

El dictamen de generación de vapor elaborado es el objetivo final de este trabajo, pero al mismo tiempo forma parte de las bases para el inicio de cualquier otro proyecto que a la planta y su tratamiento de agua se refiera, por lo que el ó los encargados de elaborar este dictamen deben comprometerse ética y profesionalmente con el trabajo que desarrollan y la institución que representan, para así cumplir de la mejor manera los objetivos planteados.

NOTA: El dictamen debe elaborarse una vez que se hayan cubierto todas las actividades del Capítulo IV “RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN”.

- 1) El primer punto del dictamen es la elaboración de la descripción del sistema de estudio, en el inciso **1.1 Descripción del comportamiento del sistema de generación de vapor y desmineralización**, se debe describir el comportamiento del proceso de desmineralización y de generación de vapor, el tipo de equipo con el cual operan y los parámetros de control de los sistemas, la información contenida en el Capítulo II y III será de gran utilidad en el momento de la elaboración.

Tabla 13. Informe técnico del sistema

INFORME TÉCNICO DEL SISTEMA	
ACTIVIDAD A DESARROLLAR	FORMAS NECESARIAS
a) Evaluación física del sistema:	• FN-002
b) Demanda de agua a los sistemas.	• FN-003
c) Dosificación de químicos al sistema	• FN-004 • FN-005
d) Instrumentación y control	• FN-006
e) Prácticas operativas del sistema de desmineralización.	• FN-007, FN-008
f) Prácticas operativas del sistema de generación de vapor.	• FN-009

- 4) La ubicación de puntos críticos del inciso 2.2 se obtiene a partir de los parámetros de la Forma FN-010 que no cumplan con el valor deseado, esta información se reportará en la Forma FN-011 que se muestra a continuación.

FN-011	LOCALIZACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS DE LOS SISTEMAS	
PARÁMETRO	SISTEMA	CORRIENTE

- 5) Una vez hecho la localización de los puntos críticos del sistema se procede al análisis del sistema externo, en este caso al análisis del sistema de desmineralización y el desaereador. De los puntos críticos obtenidos que conciernen al sistema externo, se debe realizar un análisis para encontrar el problema que ocasiona que la corriente no cumpla con los parámetros deseados, finalmente se debe elaborar una lista de los problemas del sistema de desmineralización y del desaereador y la descripción de su origen. Para el caso del sistema de desmineralización se debe auxiliar para el cálculo de la capacidad de la resina y la selección del nivel del regenerante del Apéndice I, para este caso se incluye la memoria de cálculo de la unidad desmineralizadora de estudio.
- 6) El análisis del sistema interno se refiere a la búsqueda de los problemas que no pueden ser solucionados con el sistema de tratamiento externo y deben ser regulados mediante la adición de químicos al sistema. Esta actividad demanda el cálculo y la verificación de las cantidades de químicos a dosificar al SGV. Para facilitar esta actividad se recurre a la Forma 012. que a continuación se muestra.

FN-012	ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO INTERNO				
EQUIPO	NOMBRE	CONCENTRACIÓN ACTUAL	PUNTO DE APLICACIÓN	CONCENTRACIÓN ÓPTIMA*	PUNTO DE APLICACIÓN**

- 7) El análisis del purgado se realiza con la ayuda de la Tabla 12 del Capítulo III, y en las Tablas 2 y 3 se presentan los límites permisibles de contaminantes en el agua de calderas, con estos parámetros se procede al cálculo de las purgas del sistema de generación de vapor con ayuda de la memoria de cálculo en 3.7.1.

- 8) La tercera parte del dictamen se refiere a la elaboración de las recomendaciones al sistema de generación de vapor, en este paso deben obtener conclusiones acerca de las medidas que se deben implementar en el sistema para que este opere en forma correcta y se asegure el uso eficiente del agua, las recomendaciones comprenden al sistema externo, la dosificación de químicos y el purgado.

- 9) El dictamen del SGV deberá incluir la memoria de cálculo de los resultados reportados, específicamente del cálculo de la capacidad de la resina y la selección del nivel del regenerante, del cálculo de los químicos a dosificar en el tratamiento interno y del cálculo de flujo de purga de las calderas. En este caso la memoria de cálculo se omitirá debido a que ya fue descrita en los capítulos anteriores, para el caso del cálculo de la dosificación de químicos en la Sección 3.6 del Capítulo III y el cálculo del purgado en la Sección 3.7.1 del mismo capítulo. Para el caso de la memoria de cálculo de la unidad desmineralizadora la memoria de cálculo se escribe en el Apéndice I.

5.3. DICTAMEN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR⁹

***DICTAMEN DEL SISTEMA DE
GENERACIÓN DE VAPOR DE UN CENTRO
PROCESADOR DE GAS***

1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ESTUDIO

1.1. Descripción del comportamiento del sistema de generación de vapor y desmineralización

(La información acerca de la descripción de los sistemas de desmineralización y generación de vapor se toma de los Apartados 2.1 y 3.5.3. El control de la calidad del agua se toma de la Sección 3.4.).

1.2. Informe Técnico de los sistemas

a) Informe técnico del sistema de desmineralización

El llenado de las Formas FN-002, FN-003, FN-004, FN-005, FN-006. FN-007 que a continuación se presentan corresponden al informe técnico del sistema de desmineralización.

FN-002		EVALUACIÓN FÍSICA DEL SISTEMA DE DESMINERALIZACIÓN					
EQUIPO	TAG	SERVICIO	CAPACIDAD	DIMENSIONES	PRESIÓN	DATOS DE DISEÑO	OBSERVACIONES
Intercambiador Catiónico	WI-1/1A	Agua descationizada	300 gpm	7' DI x 11' TT	50 psig.	$P_{\text{Diseño}} = 75 \text{ psig.}$ $V_{\text{ol. Resina}} = 234 \text{ ft}^3$	Opera en forma intermitente.
Intercambiador Catiónico	WI-1B	Agua descationizada	600 gpm	10' DI x 12.6' TT	50 psig.	$P_{\text{Diseño}} = 75 \text{ psig.}$ $V_{\text{ol. Resina}} = 234 \text{ ft}^3$	Opera en forma intermitente.
Intercambiador aniónico	WI-2/2A	Agua desmineralizada	300 gpm	7' DI x 6' TT	50 psig.	$P_{\text{Diseño}} = 75 \text{ psig.}$ $V_{\text{ol. Resina}} = 118 \text{ ft}^3$	Opera en forma intermitente.
Intercambiador aniónico	WI-2B	Agua desmineralizada	600 gpm	7' DI x 10'11" TT	50 psig.	$P_{\text{Diseño}} = 75 \text{ psig.}$ $V_{\text{ol. Resina}} = 118 \text{ ft}^3$	Opera en forma intermitente.
Torre desgasificadora	TD-1	Agua desgasificada	9000 gpm	6' DI x 10'11" TT			
Cisterna de agua desgasificada	TC-1	Agua desgasificada	10 m ³				
Tanque de almacenamiento de agua desmineralizada	TV-401	Agua desmineralizada	1,590 m ³				
Tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico	TH-10A	Ácido sulfúrico	8656 gal		atm	$T_{\text{Operación}} = T_{\text{amb.}}$	
Tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico	TH-10	Ácido sulfúrico	6000 gal	9'4" DI x 12'0" TT	atm	$T_{\text{Operación}} = T_{\text{amb.}}$	

NOTA: Se han dejado espacios en blanco en donde no se encontró información del sistema

FN-002		EVALUACIÓN FÍSICA DEL SISTEMA DE DESMINERALIZACIÓN(continuación)					
EQUIPO	TAG	SERVICIO	CAPACIDAD	DIMENSIONES	PRESIÓN	DATOS DE DISEÑO	OBSERVACIONES
Tanque de almacenamiento de sosa cáustica	TH-20	Sosa cáustica	6000 gal	9'4" DI x 12'0" TT	atm	$T_{Operación} = T_{amb.}$	
Tanque de almacenamiento de sosa cáustica	TH-20A	Sosa cáustica	11283 gal		atm	$T_{Operación} = T_{amb.}$	
Bomba dosificadora de ácido sulfúrico	BP-7A/B	Ácido sulfúrico	2.92 gpm			$P_{Diseño} = 60 \text{ psi}$	
Bomba dosificadora de ácido sulfúrico	BP-7C	Ácido sulfúrico	4 gpm			$P_{Diseño} = 120 \text{ psi}$	
Bomba dosificadora de sosa cáustica	BP-8A/8B	Sosa cáustica	3.7 gpm			$P_{Diseño} = 60 \text{ psi}$	
Bomba de alimentación a unidad aniónica	BP-6A/B	Agua desgasificada	800 gpm			$P_{Diseño} = 56 \text{ psi}$	

NOTA: Se han dejado espacios en blanco en donde no se encontró información del sistema

FN-003		DEMANDA DE AGUA AL SISTEMA DE DESMINERALIZACIÓN				
ALIMENTACIÓN DE AGUA AL SISTEMA						
CORRIENTE	FLUJO					OBSERVACIONES
	DATOS HISTÓRICOS	CALCULADO*	CAMPAÑAS DE MUESTREO			
			1ra	2da	3ra	
Alimentación a unidad catiónica	777.35 m ³ /d	777.34 m ³ /d	4,598.40 m ³ /d			
SALIDA DE AGUA DEL SISTEMA						
CORRIENTE	FLUJO					OBSERVACIONES
	DATOS HISTÓRICOS	CALCULADO*	CAMPAÑAS DE MUESTREO			
			1ra	2da	3ra	
Salida de unidad aniónica	627.20 m ³ /d	685.23 m ³ /d				
NIVEL DE OPERACIÓN** DEL SISTEMA						
EQUIPO	TAG	NIVEL DE OPERACIÓN				
Intercambiador Catiónico	WI-1/1A/1B	31.7%				
Intercambiador aniónico	WI-2/2A/2B	28%				

*Este valor se incluirá una vez que se haya realizado el balance de materia del proceso

**El nivel de operación de la planta se considera como el porcentaje del flujo al que se opera entre el flujo de diseño.

NOTA: Se han dejado espacios en blanco en donde no se encontró información del sistema.

FN-004 DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS AL SISTEMA DE DESMINERALIZACIÓN					
NOMBRE	DESCRIPCIÓN	CONCENTRACIÓN	FLUJO	PUNTO DE APLICACIÓN	FORMA DE DOSIFICACIÓN
Ácido sulfúrico	Regeneración de unidad catiónica	3%	183 GPM	Unidad catiónica	Se dosifica a las unidades catiónicas durante 30 minutos y el efluente se vierte al drenaje químico.
Hidróxido de sodio	Regeneración de unidad aniónica	4%	3.17 GPM	Unidad aniónica	Se dosifica durante 60 minutos: entra a la unidad, atraviesa la cama de resina en flujo descendente y sale al drenaje químico.

FN-005 INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DEL LOS EQUIPOS DEL SISTEMA DE DESMINERALIZACIÓN				
EQUIPO	TAG	LOCALIZACIÓN	INSTRUMENTACIÓN	
			NOMBRE	FUNCIÓN

NOTA: Se han dejado espacios en blanco en donde no se encontró información del sistema

FN-006		FUENTE DE AGUA PARA LA REGENERACIÓN DE RESINAS					
UNIDAD	TAG	NÚMERO DE TREN AL QUE PERTENECE	FUENTE DE SUMINISTRO DE AGUA				
			RETROLAVADO	DILUCIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO	DILUCIÓN DE SOSA CAÚSTICA	DESPLAZAMIENTO	ENJUAGUE
Catiónica	WI-1	1	-----	-----	-----	-----	-----
Catiónica	WI-1A	2	Agua Filtrada	Agua Filtrada		Agua Filtrada	Agua Filtrada
Catiónica	WI-1B	3	Agua filtrada	Agua filtrada		Agua filtrada	Agua filtrada
Aniónica	WI-2	1	-----	-----	-----	-----	-----
Aniónica	WI-2A	2	Unidades catiónicas		Tanque TV-401	Tanque TV-402	Unidades catiónicas
Aniónica	WI-2B	3	Unidades catiónicas		Tanque TV-401	Tanque TV-402	Unidades catiónicas

FN-007		TIEMPO DE OPERACIÓN DE LA PLANTA	
No. TREN		TIEMPO DE OPERACIÓN	TIEMPO DE REGENERACIÓN
1		NO OPERA	
2		20-24 horas continuas	4 horas
3		25-30 horas continuas	4 horas

V. ELABORACIÓN DEL DICTAMEN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR

b) Informe técnico del sistema de generación de vapor

El llenado de las Formas FN-002, FN-003, FN-004, FN-005, FN-008 que se presentan a continuación corresponden al informe técnico del sistema de generación de vapor (los espacios en blanco en las Formas que a continuación se presentan, son datos de los cuales no se obtuvo información).

FN-002		EVALUACIÓN FÍSICA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR					
EQUIPO	TAG	SERVICIO	CAPACIDAD	DIMENSIONES	PRESIÓN OPERACIÓN	DATOS DE DISEÑO	OBSERVACIONES
Caldera	FW-5/6	Vapor	275 000 lb/h		600 psig	<ul style="list-style-type: none"> • $P_{Diseño} = 615$ psig • Temperatura a salida sobrecalentada: 825 °F • Eficiencia Comb. con aceite: 87.11% • Eficiencia Comb. con gas: 83.02% • Picos por 4 hr: 302,500 lb/h 	
Caldera	BW-1/3/4	Vapor	175 000 lb/h		600 psig	<ul style="list-style-type: none"> • $P_{Diseño} = 675$ psig • Temperatura a salida sobrecalentada: 825 °F • Combustible: 960 BTU/ft³(Gas) 	
Turbogenerador	TG-4/5/6	Electricidad	6000 KW	3600 RPM		• 6.6 KV	
Tanque Flash	DH-2	Vapor			0.80 psig	•	
Bomba de agua de alimentación a calderas BW	CP-P1/A/B/C			900 gpm	689 psig	•	

FN-002	EVALUACIÓN FÍSICA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR
--------	--

EQUIPO	TAG	SERVICIO	CAPACIDAD	DIMENSIONES	PRESIÓN OPERACIÓN	DATOS DE DISEÑO	OBSERVACIONES
Calentador deaerador de agua de alimentación a calderas	CP-DH-1	Agua deaerada	525 000 lb/h @ 280°F				
Bomba de alimentación al DH-1	CP-P2/A		900 gpm		Delta de Presión: 160 psig		
Tanques de condensados	CP-T-3/A		3000 bls	30' DI X 24' H		•	
Condensador de vapor ex ahusto	CP-C-2		37 325 lb/hr de vapor a condensación		Atm.	•	
Condensador de vapor ex ahusto	CP-C-1		39 483 lb/hr de vapor a condensación		Atm.	•	

FN-003		DEMANDA DE AGUA AL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR				
ALIMENTACIÓN DE AGUA AL SISTEMA						
CORRIENTE	FLUJO					OBSERVACIONES
	DATOS HISTÓRICOS	CALCULADO*	CAMPAÑAS DE MUESTREO			
			1ra	2da	3ra	
Alimentación a calderas BW	1,901.79 m ³ /d	1940.55 m ³ /d	-	-	-	-
Alimentación a calderas FW	2,783.58 m ³ /d	2840.39 m ³ /d	-	-	-	-
SALIDA DE AGUA DEL SISTEMA						
CORRIENTE	FLUJO					OBSERVACIONES
	DATOS HISTÓRICOS	CALCULADO*	CAMPAÑAS DE MUESTREO			
			1ra	2da	3ra	
Salida de calderas BW	2,783.63 ton/h	1901.76 ton/h	-	-	-	-
Salida de calderas FW	633.92 ton/h	2783.57 ton/h	-	-	-	-
NIVEL DE OPERACIÓN** DEL SISTEMA						
EQUIPO	TAG	NIVEL DE OPERACIÓN				
Caldera BW	BW-1/3/4	11%				
Caldera FW	FW-5/6	46%				

*Este valor se incluirá una vez que se haya realizado el balance de materia del proceso

**El nivel de operación de la planta se considera como el porcentaje del flujo al que se opera entre el flujo

FN-004 DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS AL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR				
EQUIPO	NOMBRE	CONCENTRACIÓN	PUNTO DE APLICACIÓN	FORMA DE DOSIFICACIÓN
Caldera BW	Fosfato Trisódico 42% pureza	0.64 ppm	En el domo de la caldera	La dosificación es a partir del tanque de mezclado TG-1, mediante la bomba TG-105A (9.8 gpm)
Caldera FW	Fosfato Trisódico 42% pureza	0.50 ppm	En el domo de la caldera	Los tanques de mezclado son TG-403/404, la alimentación es mediante la bomba BP-403A/B (6.5 gpm)
Caldera BW	Hidracina 35%	3.59 ppm	Succión de las bombas de alimentación a las calderas	El mezclado de la hidracina se lleva a cabo en los tanques TG-403/404 y se alimentan mediante la bomba CP-P7A
Caldera FW	Hidracina 35%	2.55 ppm	Succión de las bombas de alimentación a las calderas	El mezclado de la hidracina se lleva a cabo en los tanques TG-403/404 y se alimentan mediante la bomba CP-P7A

FN-005 INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DEL LOS EQUIPOS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR				
EQUIPO	TAG	LOCALIZACIÓN	INSTRUMENTACIÓN	
			NOMBRE	FUNCIÓN

FN-008	PURGADO					
UNIDAD	TAG	FLUJO DE LA PURGA DE DOMO (m ³ /d)	FLUJO DE LA PURGA DE FONDO (m ³ /d)	PURGA TOTAL (m ³ /d)	TIEMPO DE PURGADO	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD
Caldera	BW-1/3/4	31.05	7.76	38.81		
Caldera	FW-5/6	45.45	11.37	56.82		

2. EVALUACIÓN DEL SISTEMA

2.1. Comparación de la calidad del agua de las corrientes principales con los parámetros deseables

FN-010	COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL SISTEMA: GENERACIÓN DE VAPOR		
	CORRIENTE*	PARÁMETRO	VALOR ACTUAL ^a
Salida de unidad catiónica	Dureza	0 ppm CaCO ₃	0 ppm CaCO ₃
	Acidez libre mineral	54.14 ppm	< 20 ppm
Salida de unidad aniónica	Dureza	0 ppm CaCO ₃	0 ppm CaCO ₃
	Conductividad	3.05 µmhos/cm	< 50 µmhos/cm
	Sílice	0.55 ppm	10 ppm
Salida planta desmineralizadora	pH	8.78	7-10
Salida del deaerador	Oxígeno	1.66 ppm	0 ppm
Entrada a calderas BW	SDT	21.24 ppm	300 ppm
	Dureza	0 ppm CaCO ₃	0 ppm CaCO ₃
	Sílice	0.57 ppm	3 ppm
	Fosfatos	2.56 como PO ₄	40 ppm
Entrada a calderas FW	SDT	13.28 ppm	300 ppm
	Dureza	0 ppm CaCO ₃	0 ppm CaCO ₃
	Sílice	0.51 ppm	3 ppm
	Fosfatos	2.04 ppm PO ₄	40 ppm
Retorno de condensados	Fe	0.58	3 ppm

* Las corrientes críticas para cada sistema se mencionan en las Tablas 11 y 12 del Capítulo IV.

a Este valor se obtiene de la Figura 4.5 Capítulo IV de la columna de "Ponderación" de la Matriz de Caracterización de Corrientes, para el punto deseado.

b Este valor se obtiene de las Tablas 2, 3, 4 y 9 del Capítulo III.

2.2. Ubicación de puntos críticos.

FN-011	LOCALIZACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS DE LOS SISTEMAS	
PARÁMETRO	SISTEMA	CORRIENTE
Oxígeno	Generación de vapor	Salida deaereador

2.3. Análisis del tratamiento externo

a. Análisis de la unidad desmineralizadora

De acuerdo a los valores de la Tabla 9 se establece si un parámetro cumple con los límites recomendados, por lo que se analizaron los siguientes parámetros de los cuales se presentan en resumen los resultados encontrados.

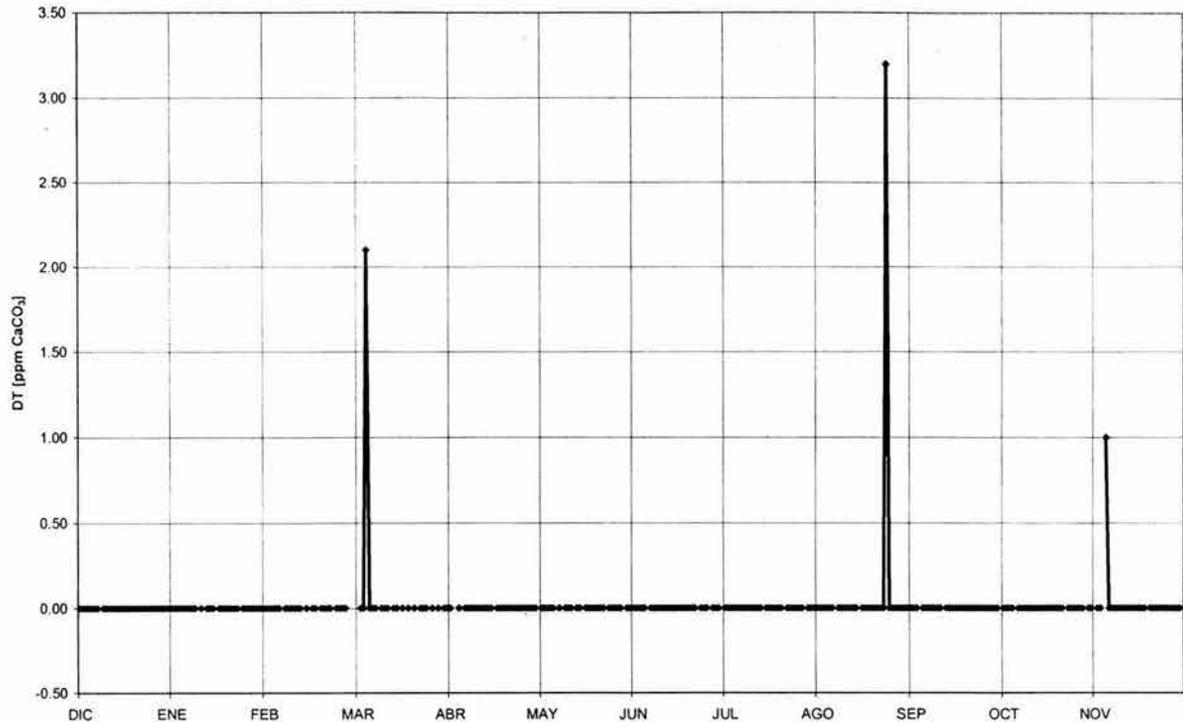
Tabla 9. Parámetros de control en la unidad desmineralizadora

Parámetro	Valor Recomendado
Dureza (ppm)	0 en catión , 0 en anión
Acidez libre mineral (ppm)	<20 en el catión
Sílice (ppm)	10 en el anión
Conductividad $\mu\text{mho/cm}$	<50 en el anión
pH	7-10 en agua desmineralizada

- Dureza en la salida de la unidad catiónica

En la Gráfica 1 se muestran los datos de la dureza total, a la salida de la unidad catiónica de la planta desmineralizadora del periodo antes mencionado. Como se puede observar, este parámetro sí cumple con la especificación de 0.0 ppm de CaCO_3 , excepto en tres mediciones de las cuales existe un valor máximo de 3.20 ppm de CaCO_3 .

CORRIENTE: CATIÓN DE LA PLANTA DI; PARÁMETRO: DT
PERIODO: DIC-2000 A NOV-2001



Gráfica 1. Valores de dureza a la salida de la unidad catiónica.

- Dureza en la salida de la unidad aniónica

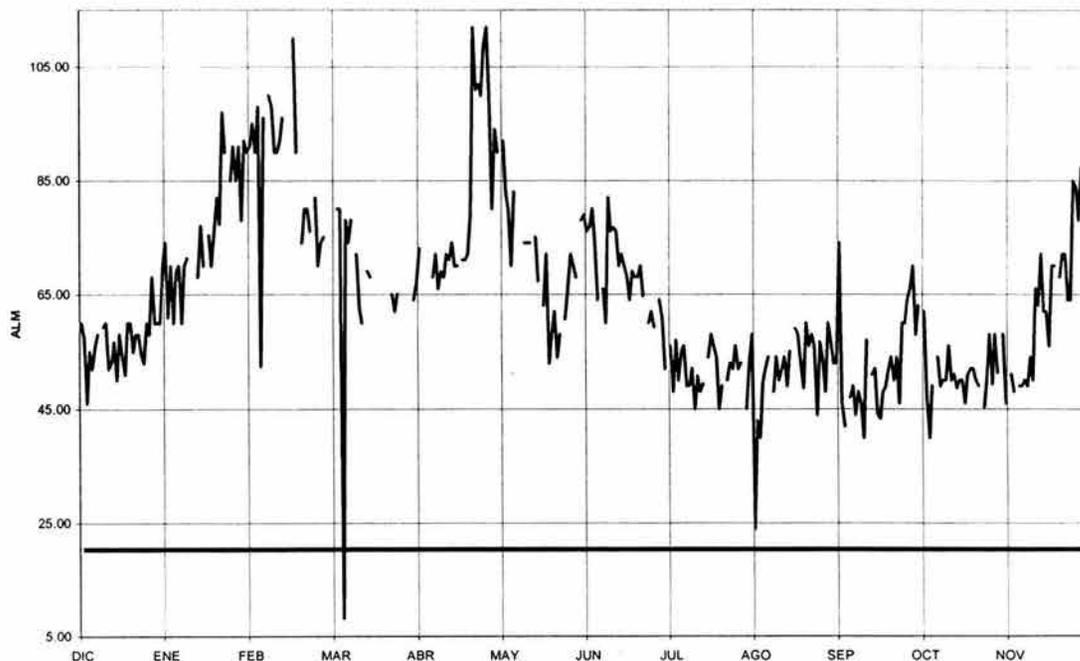
Durante el periodo de Dic-2000 a Nov-2001 considerado en la Gráfica 1, para realizar este análisis, se concluye que el control para la dureza total a la salida aniónica de la planta desmineralizadora fue el correcto, ya que todas las mediciones se comportaron en valor de 0.0 ppm de CaCO_3 .

- Acidez libre mineral en la salida de la unidad catiónica

La acidez libre mineral es otro de los parámetros que cumplen con las especificaciones utilizadas en este análisis, ya que ésta debe ser mayor a 20 ppm. Esto indica que se lleva a cabo un buen control de acidez libre mineral en la unidad catiónica de la planta desmineralizadora, como se observa en la Gráfica 2. Para este parámetro solo una medición no cumplió con especificación.

V. ELABORACIÓN DEL DICTAMEN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR

CORRIENTE: CATION DE LA PLANTA DI; PARÁMETRO: ALM
PERIODO: DIC-2000 A NOV-2001



Gráfica 2. Valores de acidez libre mineral.

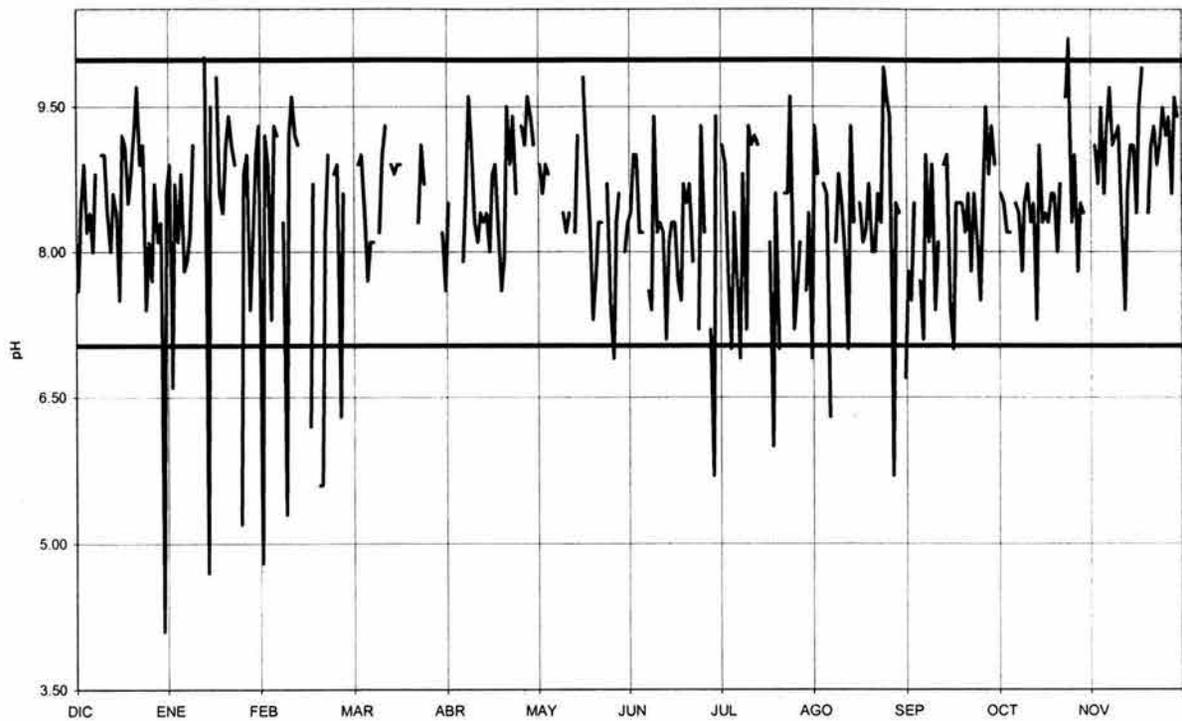
- Conductividad en la salida de la unidad aniónica

Aunque para este parámetro el laboratorio del Centro Procesador de Gas no realiza las mediciones, por tal razón no se cuenta con los datos históricos, por otro lado se encontró que las mediciones realizadas por la UNAM, en las diferentes campañas de monitoreo, sí cumplen con las especificaciones requeridas. Se recomienda en todo caso, que se lleve a cabo la medición de este parámetro por parte del Centro Procesador de Gas, para tener un mayor control en la planta desmineralizadora.

- pH a la salida de la planta desmineralizadora

En la Gráfica 3 se muestran los valores que el laboratorio químico del Centro Procesador de Gas reportó para el periodo utilizado en el presente análisis, se puede observar que en los meses de enero a marzo y de junio a septiembre del 2001 existieron variaciones en el control de pH, mismo que debe estar en el intervalo de 7 a 10.

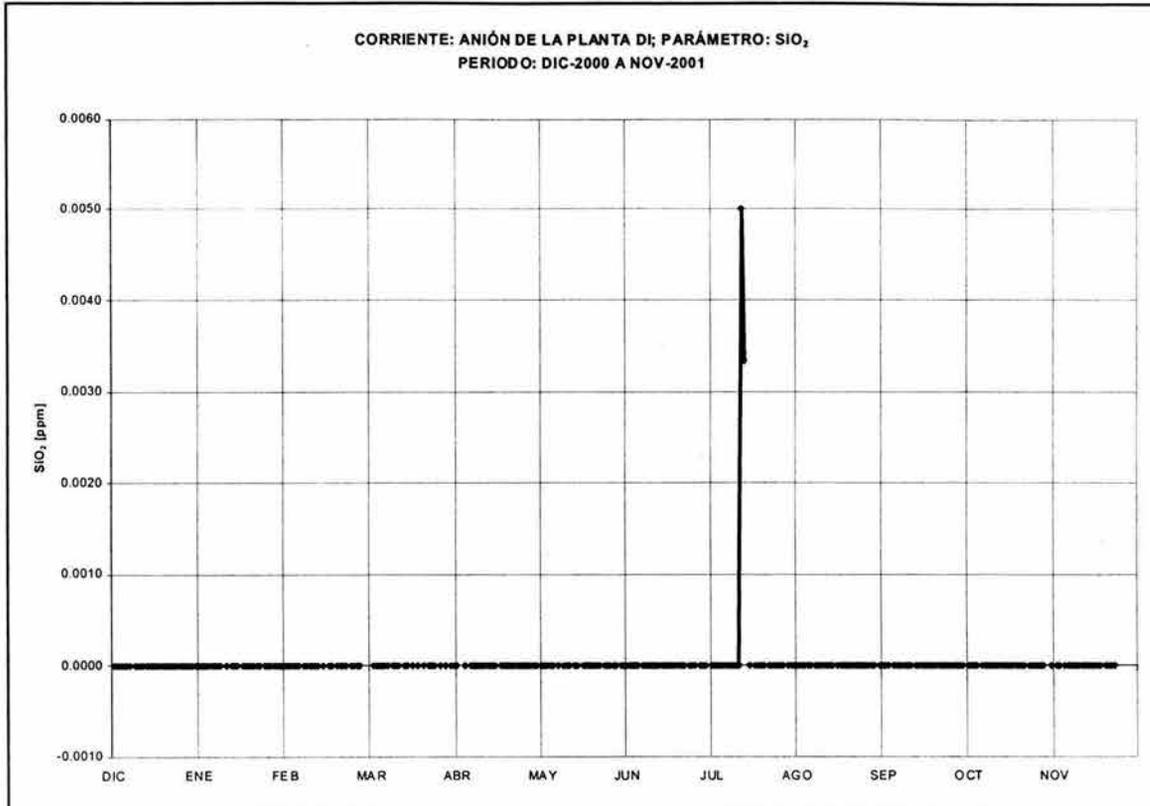
CORRIENTE: SALIDA DE LA PLANTA DI; PARÁMETRO: pH
PERIODO: DIC-2000 A NOV-2001



Gráfica 3. Valores de pH a la salida de la planta desmineralizadora.

- Sílice en la salida de la unidad aniónica

Durante todo el período de Dic-2000 a Nov-2001 analizado en la Gráfica 3, los valores de sílice para la unidad aniónica de la planta desmineralizadora sí cumplieron con la especificación de 0.00 ppm, excepto en dos mediciones del mes de julio cuyos valores fueron de 0.003 y 0.005 ppm, tal como se muestra en la Gráfica 4.



Gráfica 4. Valores de sílice a la salida de la unidad aniónica.

Cálculo de la capacidad de la resina y selección del nivel de regenerante

Este cálculo se puede observar a detalle en el Apéndice I, con base a los resultados obtenidos y asumiendo un nivel de regenerante de ácido sulfúrico de 5 lb/ft³ se obtiene una capacidad de resina catiónica de 12.57 kgr/ft³ (1 kgr equivale a 0.064 kg).

De igual manera, asumiendo un nivel de regenerante de sosa cáustica de 5 lb/ft³, se tiene una capacidad de resina con un valor de 9.41 kgr/ft³ (1 kgr equivale a 0.064 kg).

b. Análisis del desaerador

Como el desaerador no está eliminando todo el oxígeno presente en la corriente de alimentación a las calderas, es necesaria la adición de un compuesto químico que elimine el oxígeno remanente para así evitar daños en la caldera. Los compuestos más utilizados para este problema son el sulfito de sodio y la hidracina, en este caso se utiliza la hidracina por lo que en el análisis del tratamiento interno se discute más a fondo.

2.4. Análisis del tratamiento interno

FN-012		ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO INTERNO			
EQUIPO	NOMBRE	CONCENTRACIÓN ACTUAL	PUNTO DE APLICACIÓN	CONCENTRACIÓN ÓPTIMA*	PUNTO DE APLICACIÓN**
Caldera BW	Fosfato Trisódico 42% pureza	0.64 ppm	En el domo de la caldera	No se requiere ya que no hay dureza de calcio en la alimentación.	En el domo de la caldera
Caldera FW	Fosfato Trisódico 42% pureza	0.50 ppm	En el domo de la caldera	No se requiere ya que no hay dureza de calcio en la alimentación.	En el domo de la caldera
Caldera BW	Hidracina 35%	3.59 ppm	Succión de las bombas de alimentación a las calderas	4.9 ppm	A la corriente de alimentación que sale del deaerador, o inmediatamente después del último punto donde el agua está en contacto con el aire
Caldera FW	Hidracina 35%	2.45 ppm	Succión de las bombas de alimentación a las calderas	3.6 pmm	A la corriente de alimentación que sale del deaerador, o inmediatamente después del último punto donde el agua está en contacto con el aire
Caldera BW	Sulfito de sodio	Actualmente no se está dosificando sulfito de sodio pero se incluye la concentración óptima a dosificar en caso de aplicar al sistema.		9.24 ppm	A la corriente de alimentación que sale del deaerador, o inmediatamente después del último punto donde el agua está en contacto con el aire
Caldera FW	Sulfito de sodio			13.11 ppm	A la corriente de alimentación que sale del deaerador, o inmediatamente después del último punto donde el agua está en contacto con el aire

*Se obtiene de la memoria de cálculo del Apartado 3.6.

**Esta información se obtiene de la Tabla 11 en la Sección 3.6.6.

2.5. Evaluación del purgado

La evaluación del purgado de las calderas del sistema de generación de vapor, se realiza en base a los contaminantes límites del agua de caldera de acuerdo a la presión a la que se encuentre operando la caldera, en este caso a 600 psi.

El cálculo de purga del sistema de generación de vapor arroja que el flujo de purga requerido para las calderas FW-5/6 es de 443.10 m³/d, tomando como parámetro de control al hierro en el agua de caldera.

Tabla 12. Calculo de las purgas de la caldera FW-5/6 a 600 psi

CONTAMINANTE	Alimentación en el agua de alimentación a caldera (ppm)	Límite de contaminante en el agua de caldera (ppm)	% Purga	Flujo volumétrico de purga requerido (m ³ /d)
SDT(max)	18.28	3000	0.60%	17.04
Acalinidad total	8.13	194	4.19%	119.01
Fosfato PO ₄ ⁻	2.04	30	6.79%	192.96
Silice mg de SiO ₂	0.51	30	1.7%	48.28
Hierro total	0.47	3	15.6%	443.10

Para el caso de la caldera BW-1/3/4 el parámetro de control es también el hierro el cual requiere de un purgado de 349.29 m³/d para mantener los límites permisibles de contaminantes dentro del agua de caldera.

Tabla 12'. Calculo de las purgas de la caldera BW-1/3/4 a 600 psi

CONTAMINANTE	Concentración en el agua de alimentación a caldera (ppm)	Límite de contaminante en el agua de caldera (ppm)	% Purga	Flujo volumétrico de purga requerido (m ³ /d)
SDT(max)	25.45	3000	0.84%	16.46
Acalinidad total	9.07	194	4.67%	90.72
Fosfato PO ₄ ⁻	2.56	30	8.53%	165.59
Silice mg de SiO ₂	0.57	30	1.9%	36.87
Hierro total	0.54	3	18%	349.29

La Tabla 12 y 12' fueron llenados en la primera columna con los datos de contaminantes en cada corriente, este dato se obtuvo de información del sistema. La segunda columna fueron valores obtenidos de la Tabla 3 del Apartado 3.4. El % de purga y el flujo volumétrico de purga requerido se cálculo siguiendo la memoria de cálculo presentada en el Apartado 3.7.1.

3. RECOMENDACIONES SOBRE EL SISTEMA

3.1. Recomendaciones al sistema de tratamiento externo

- I. Las mediciones de flujo en la entrada y en la salida de la unidad desmineralizadora realizadas indican que en promedio el flujo procesado es de 4400 m³/d (807 gpm), esto significa un flujo por unidad de área de 21 gpm/ft² para el tren No. 2 y 10 gpm/ft² para el tren No. 3, el área utilizada se obtuvo a partir de los diámetros internos de para cada tren (10 ft y 7 ft respectivamente). Sin embargo en cuanto al flujo se refiere, para cualquiera de los trenes, el valor máximo de diseño es de 3270 m³/d (600 gpm). Esto repercute en el desempeño de la unidad, ya que puede provocar una compactación mayor y una consecuente disminución en la eficiencia; además de causar erosión en la resina y una caída de presión mayor del agua que circula por la unidad.
- II. Para la unidad catiónica en la etapa de retrolavado, se recomienda manejar un flujo por unidad de área de 5 a 9 gpm/ft² (ver Figura A1 del Apéndice I). Esta recomendación se debe a que la resina que actualmente se utiliza en el Centro Procesador de Gas, es de tipo Amberlita IR-120. Esta Figura muestra el flujo por unidad de área para el retrolavado en función de la temperatura, por lo que para una temperatura de aproximadamente 30 °C el flujo recomendado asegura porcentaje de expansión de la cama razonable.

En la Tabla 7 se dan algunas recomendaciones para el manejo de este tipo de resina.

Tabla 7. Especificaciones para la resina Amberlita IR-120.

Las condiciones de regeneración para la operación del ciclo de hidrógeno de la Amberlita tipo IR-120 se enlistan a continuación.	
CONCENTRACIÓN DE REGENERANTE	10% de HCl o 1 a 5 % H ₂ SO ₄
FLUJO DE REGENERANTE	0.5 a 1.0 gpm/ft ³
FLUJO DE ENJUAGUE	Inicialmente puede ser igual al del flujo del regenerante, luego puede ser incrementado 1.5 gpm/ft ³
REQUERIMIENTOS DE AGUA DE ENJUAGUE	25 a 75 gal/ft ³

- III. Para mejorar la operación de la unidad catiónica en la etapa de inyección de ácido sulfúrico, se recomienda tomar agua descationizada y no agua de filtrada para la dilución, con el fin de asegurar que la solución de ácido sulfúrico pueda regenerar adecuadamente la resina.
- IV. En la etapa de enjuague de la unidad catiónica, se debe alimentar agua del efluente catiónico, ya que esta agua está completamente libre de cationes, lo que favorece la limpieza de la resina sin llegar al grado de contaminarla.

- V. En el caso de la unidad aniónica, en la etapa de enjuague, se recomienda tomar agua desmineralizada en vez de agua proveniente de las unidades catiónicas (descationizada), porque el agua desmineralizada no contiene aniones y el agua descationizada sí los contiene, mismos que pueden ser la causa de un ensuciamiento de la resina.
- VI. Es importante mencionar que debido a que los requerimientos de agua desmineralizada son considerablemente menores a la capacidad de diseño de la unidad, se tiene que operar ésta de forma intermitente. Esta operación discontinua puede ocasionar problemas de contaminación con calcio y otros iones a la corriente de agua desmineralizada, por lo que no es recomendable.

3.2. Recomendaciones al sistema de dosificación de químicos

- I. Actualmente se está usando en el Centro Procesador de Gas, hidracina del 35% para la remoción del oxígeno disuelto, la cual se recomienda para presiones mayores a 1800 psig, pero puede usarse para presiones bajas, como es el caso de los 600 psig generados en el Centro procesador de gas de estudio. La hidracina tiene la desventaja de ser tóxica y por tanto debe ser manejada con precaución. Por tal motivo se recomienda usar el sulfito de sodio para eliminar el oxígeno disuelto, tanto por su bajo costo como por su fácil manejo. El precio de la hidracina es aproximadamente 4 veces más que el precio del sulfito de sodio.
- II. El lugar donde se esta adicionando la hidracina (succión de las bombas de alimentación), corresponde a lo recomendado en la literatura, ya que se tiene mayor tiempo de residencia para la reacción de la hidracina con el oxígeno disuelto.
- III. Para eliminar 1.66 ppm de oxígeno disuelto del agua de alimentación a calderas, se requieren 4.9 gramos de hidracina del 35% por m³ de agua de alimentación para las calderas FW-5/6 y 3.6 gramos de hidracina del 35% por m³ de agua de alimentación a la caldera BW-1/3/4. Actualmente se están utilizando 3.59 ppm y 2.45 ppm de hidracina, respectivamente. Se recomienda aumentar las dosis de hidracina en la corriente de alimentación con la finalidad de eliminar todo el oxígeno disuelto presente, evitando sobrepasar los límites máximos de hidracina de la Tabla 2 que se presenta en el Apartado 3.4.
- IV. Se recomienda trabajar con un medidor de flujo para controlar las concentraciones de hidracina requeridas ya mencionadas anteriormente.
- V. En caso de utilizar el sulfito de sodio para eliminar el oxígeno de la corriente, se recomiendan 13.11 ppm para las caleras FW-5/6 y 9.24 ppm para las calderas BW-1/3/4. Este cálculo se realizó para sulfito de sodio puro, se debe realizar el ajuste para el tipo de sulfito de sodio a emplear incluyendo la pureza a la que se encuentre, cabe señalar que estos datos se obtuvieron de manera similar a la memoria de cálculo presentada en el Apartado 3.6.1.

- VI. El fosfato trisódico se usa para eliminar el calcio del agua de alimentación a las calderas FW-5/6 y BW-1/3/4, ya que éste compuesto forma incrustaciones en los tubos de agua. Los datos históricos reportados no presentan concentraciones de calcio, sin embargo, actualmente se está adicionando fosfato trisódico del 42% de pureza en peso para las calderas FW-5/6 y BW-1/3/4 en base a que el fosfato trisódico además de eliminar dureza de calcio funciona como inhibidor de la corrosión en el agua de las calderas, cabe señalar que el agua de calderas tiene una concentración límite para los fosfatos de 7.5 ppm.
- VII. Se recomienda no sobrepasar la concentración límite de fosfatos de 7.5 ppm en el agua de calderas.
- VIII. Para tener una referencia del fosfato trisódico requerido en caso de dureza de calcio se obtuvo que para 1 ppm de calcio requiere 2.86 gramos de fosfato trisódico del 42% en peso por m³ de agua de alimentación a calderas FW-5/6, mientras que para 1 ppm de calcio requiere 2.90 gramos de fosfato trisódico del 42% en peso por m³ de agua de alimentación a calderas BW-1/3/4. Actualmente, se están usando 0.83 gramos de fosfato trisódico del 42% por m³ de agua de alimentación a calderas FW-5/6 y BW-1/3/4.

3.2. Recomendaciones al sistema de purgado.

- I. Actualmente, se tiene un flujo volumétrico de purga de la caldera FW-5/6 de 45.45 m³/d y de 36.87 m³/d para la caldera BW-1/3/4. Para este caso en particular, se recomienda escoger el mayor flujo volumétrico para las purgas de las calderas FW-5/6 y BW-1/3/4 reportado en la Tablas 5 y 6, que correspondería a 443.10 m³/d para la caldera FW-5/6 y 349.29 m³/d para la caldera BW-1/3/4. El criterio de selección del flujo de purgado se describe en el Apartado 3.7.
- II. Como el porcentaje de purga es el 15.6% y 18% para las calderas FW-5/6 y BW-1/3/4 respectivamente, para el hierro como el parámetro de control, se recomienda disminuir la concentración de hierro en la corriente de alimentación con el objetivo de disminuir el porcentaje de purga. De acuerdo a la Tabla 1 del Apartado 3.4, la presencia del hierro puede generar color y es fuente de precipitados y lodos en las líneas de agua y vapor.

4. MEMORIA DE CÁLCULO

4.1. Memoria de cálculo de la unidad desmineralizadora

(La memoria de cálculo de la unidad desmineralizadora se detalla en el Apéndice I

4.2. Memoria de cálculo de la dosificación de químicos

(Los datos referentes a la dosificación de químicos fueron calculados siguiendo los procedimientos presentados en el Apartado 3.6, razón por la cual no se incluyen en esta parte del trabajo.)

4.3. Memoria de cálculo del purgado

(La memoria de cálculo para el cálculo del purgado se detalla en el Apartado 3.7.1)

5. BIBLIOGRAFÍA

(La bibliografía del dictamen es la misma del capítulo siete de este trabajo)

CONCLUSIONES

En este trabajo se formuló un Dictamen de un Sistema de Generación de Vapor en un Centro Procesador de Gas que se presenta en el Apartado 5.3. El Dictamen elaborado se basa en la información contenida en los Capítulos II y III, en donde se incluye toda la información acerca de la operación de los tipos más comunes de calderas, los tratamientos externos e internos más utilizados en el tratamiento de agua de calderas, los criterios de selección del porcentaje de purgado y principalmente los parámetros de control del agua de calderas, necesarios para la elaboración de un Dictamen de un Sistema de Generación de Vapor.

El Dictamen elaborado se enfoca principalmente en sistemas de vapor dentro de un Centro Procesador de Gas. Una característica de este tipo de plantas es su gran tamaño, lo cual se ve reflejado en la información del sistema, la cual, a pesar de ser abundante, la mayoría de las veces no es representativa del mismo; tal es el caso de los datos históricos de muestreo y aforo de las corrientes del sistema. Incluso en otras ocasiones la información puede ser desconocida. Abordando este problema, en el Capítulo IV se proponen los procedimientos para la recopilación de información, bien sea por medio del levantamiento en campo (ya sea fotográfico, de drenajes o de equipo) o también mediante campañas de muestreo y aforo de corrientes. La integración y el análisis de la información del sistema es un problema complicado; sin embargo, estas actividades se facilitan mediante los procedimientos propuestos como lo son la elaboración de una Matriz de Incidencia de Contaminantes y otra Matriz para la Caracterización de Corrientes, con lo cual se logra principalmente obtener valores representativos para los contaminantes y los flujos en la corriente. Es necesario señalar que la caracterización de las corrientes del sistema de generación de vapor sirve además como apoyo en la elaboración del balance de materia del sistema, convirtiendo a ésta una actividad aún más importante dentro del proceso de elaboración del Dictamen. Adicionalmente, se debe mencionar que este trabajo puede ser utilizado al momento de Dictaminar cualquier Sistema de Generación de Vapor.

Las formas FN-001, FN-002, FN-003, FN-004, FN-005, FN-006, FN-007, FN-008, FN-009, FN-010, FN-011 y FN-012, que se incluyen en el Capítulo IV, incluyen toda la información necesaria para la elaboración del sistema de generación de vapor de manera

ordenada para su fácil acceso durante y después de la elaboración del dictamen del Sistema de Generación de Vapor.

Por todo lo anterior se puede afirmar que este trabajo proporciona las herramientas necesarias para la elaboración de un Dictamen de un Sistema de Generación de Vapor que asegure el uso eficiente del agua dentro del sistema, lo cual se logra cuando los requerimientos de producción de vapor son alcanzados con la menor cantidad de agua utilizada. Para esto es necesario el cumplimiento de los parámetros de control del agua de alimentación a las calderas y el agua que circula dentro de ellas. El purgado de la caldera es también una actividad muy importante: cuando el porcentaje de purgado se elige correctamente, las descargas a drenajes se reducen; por otro lado al controlar los límites de contaminantes se procura el buen estado físico de las calderas. El cumplimiento de los parámetros de control puede sugerir inclusive el cambio de algún equipo o bien de todo un sistema de tratamiento completo.

En conclusión el Dictamen propuesto puede contribuir a cimentar las bases de proyectos que busquen hacer eficiente el uso del agua del Sistema Global al cual pertenece el Sistema de Generación de Vapor.

BIBLIOGRAFÍA

-
1. Anthony L.Kohan, Harry M.Spring,
“Boiler Operators’s Guide”.
Mc Graw-Hill. Cap.1,2,3.
 2. Pedro Reyna Fragoso,
TESIS “Diseño de un desaereador térmico de 3 etapas para agua de alimentación de calderas”.
UNAM Facultad de Química 1995.
 3. Nalco Chemical Company, Frank N. Kemmer, John McCallion,
“Manual del Agua, Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones”.
Mc Graw-Hill. Tomo I y III.
 4. Keenan, Kleinfelter y Word,
“Química General Universitaria”.
CECSA, 1987.
 5. P. Hamer, B.A., J.Jackson, E.F, Thurston.
“Industrial Water Treatment Practice.
Butterworths, 1961.
 6. Applebaum, Samuel B.
“Demineralization by ion exchange”
Academia Press-New York San Francisco London 1968
 7. Wachinsky Anthony M, Etzel Ph.D., P.E
Lewis publishers
 8. Tebbutt, T.H.Y.
“Fundamentos de Control de la Calidad del Agua”
Ed. Limusa, 1994.
 9. Información de proyecto
 10. RCRA “Groundwater Monitoring Technical Enforcement Guidance Document”
Environmental protection agency, 1986
 11. Instrucciones genéricas para PEMEX GyPB (copia no controlada)
 12. Metcalf & Eddy, Inc.
“Wastewater Engineering”
Mc Graw-Hill
-

13. "Wastewater Filtration, Design Considerations"
Environmental Protection Agency, 1974
14. www.stps.com.mx
15. Steam Conservation Guidelines for Condensate Drainage
Armstrong International, Inc. 1994
16. Degremont
"Water Treatment Handbook"
John Wiley and Sons, 1979

APÉNDICE I

- MEMORIA DE CÁLCULO DE LA UNIDAD DESMINERALIZADORA

MEMORIA DE CÁLCULO DE LA UNIDAD DESMINERALIZADORA^{5,6,7,8}

- **Cálculo de la capacidad de la resina catiónica y selección del nivel de regenerante.**

Suma de los cationes a la entrada de la unidad catiónica.

$$\text{Total de cationes} = 153.21 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{ como } \text{CaCO}_3$$

$$\% \text{ de sodio} = \frac{\text{Concentración Na}}{\text{Total de cationes}} \times 100$$

Este valor corresponde a la concentración de sodio de la corriente de entrada de la unidad catiónica.

$$\% \text{ de sodio} = \frac{30.74 \text{ ppm}}{153.21} \times 100 = 20$$

$$\% \text{ de alcalinidad} = \frac{\text{Alcalinidad}}{\text{Total de cationes}} \times 100$$

$$\% \text{ de alcalinidad} = \frac{111.33}{153.21} \times 100 = 72.66\%$$

El valor de 111.33 corresponde a la alcalinidad de la corriente de entrada a la unidad catiónica.

$$\% \text{ de fuga de catión requerido} = \frac{9.50}{153.21} \times 100 = 6.20 \%$$

El valor de 9.50 que corresponde a la fuga de sodio de la unidad catiónica .

Con base a los resultados obtenidos previamente y asumiendo un nivel de regenerante de ácido sulfúrico de 5 lb/ft³ y apoyándose en la Tabla A1 se tiene una capacidad de resina de 12.57 kgr/ft³.

- **Cálculo de la capacidad de la resina aniónica y selección del nivel de regenerante**

Los valores que a continuación se presentan son datos resultado de un análisis comparativo entre datos históricos proporcionados por el Centro Procesador de Gas, y los del muestreo.

$$CO_2 \text{ después del descarbonador} = 0.00 \text{ ppm como } CaCO_3$$

$$SiO_2 \text{ a la entrada de la unidad aniónica} = 5.25 \times 0.83 = 4.36 \text{ ppm como } CaCO_3$$

5.25 es el valor correspondiente de la sílice en forma iónica, el factor de 0.83 es para hacer la conversión de mg/L a mg/L expresado en $CaCO_3$.

$$SO_4 \text{ a la entrada de la unidad aniónica} = 29.94 \text{ ppm como } CaCO_3$$

$$PO_4 \text{ a la entrada de la unidad aniónica} = 2.72 \text{ ppm como } CaCO_3$$

$$Cl \text{ a la entrada de la unidad aniónica} = 34.17 \text{ ppm como } CaCO_3$$

$$Acidez Mineral Total = SO_4 + Cl$$

$$Acidez Mineral Total a la entrada de la unidad aniónica = 64.11 \text{ ppm como } CaCO_3$$

$$Total \text{ de aniones intercambiables} = Acidez Mineral Total + SiO_2 + CO_2 + PO_4$$

$$Total \text{ de aniones intercambiables} = 71.19 \text{ ppm como } CaCO_3$$

$$Total \text{ de aniones intercambiables} = \frac{71.19 \text{ ppm}}{17.1} = 4.16 \frac{\text{granos}}{\text{gal}}$$

$$Fuga \text{ de sílice} = 0.55$$

$$\text{Por ciento de ácidos débiles} = \frac{CO_2 + SiO_2}{\text{Total de aniones intercambiables}} \times 100$$

$$\text{Por ciento de ácidos débiles} = \frac{4.36}{68.47} \times 100 = 6.37\%$$

$$\text{Por ciento de cloruros} = \frac{Cl^-}{\text{Total de aniones intercambiables}} \times 100$$

$$\text{Por ciento de cloruros} = \frac{34.17}{71.19} \times 100 = 48\%$$

$$\text{Por ciento de sílice} = \frac{SiO_2}{\text{Total de aniones intercambiables}} \times 100$$

$$\text{Por ciento de sílice} = \frac{5.25 \times 0.83}{71.19} \times 100 = 6.12\%$$

Con base en los resultados obtenidos previamente, asumiendo un nivel de regenerante de sosa cáustica de 5 lb/ft³ y apoyándose en la Tabla A2, se tiene una capacidad de resina de 11.062 kgr/ft³, mismo valor que se multiplica por 0.85, que es un factor de corrección dependiente del porcentaje de ion cloruro, que en este caso es de 48 % (ver Tabla a2, nota al pie 'a'), resultando la capacidad de resina con un valor de 9.41 kgr/ft³.

A continuación se muestran las Tablas A1 y A2 para una mejor comprensión en los cálculos.

Tabla A1. Capacidades de la resina Amberlita IR-120.

SULFONIC RESIN (AMBERLITE IR-120):^a APPROXIMATE CAPACITIES^b AND AVERAGE
CATION LEAKAGES FOR VARIOUS TYPES OF WATER^c AND 100% SULFURIC ACID
REGENERANT LEVELS

Alk., %	Na, %	2.5 lb/ft ³ (acid/resin)		5.0 lb/ft ³ (acid/resin)		7.5 lb/ft ³ (acid/resin)	
		Capac., kgr/ft ³	Cation leak., ^d %	Capac., kgr/ft ³	Cation leak., ^d %	Capac., kgr/ft ³	Cation leak., ^d %
0	0	8.3	0	11.4	0	13.1	0
	25	8.3	5	11.4	2	13.2	0
	50	8.3	10	11.5	4	13.6	2
	75	8.5	24	12.6	14	15.0	8
	100	10.3	62	16.9	42	20.0	29
50	0	8.6	0	11.9	0	13.5	0
	25	8.9	0	12.3	0	14.1	0
	50	9.2	5	13.1	2	15.0	2
	75	9.5	15	16.4	8	16.9	6
	100	11.5	39	19.2	25	22.7	16
100	0	9.0	0	12.2	0	14.0	0
	25	9.8	0	13.2	0	15.1	0
	50	10.8	0	14.8	0	16.9	0
	75	12.1	0	16.8	0	19.7	0
	100	13.5	2	21.4	1	25.5	0

^a Standard 8% divinylbenzene; downward flow in steps of acid strength.

^b Capacity figures are lower than Rohm and Haas Company ratings, to allow for rinse water and a safety factor.

^c Magnesium (as CaCO₃) assumed to be about 33% of total hardness; more than that increases capacity.

^d Zero signifies almost zero leakage.

Tabla A2. Capacidades de la resina Amberlita IRA-402.

POROUS-TYPE I STRONG-BASE RESIN (DOWEX SBR-P):^a CAPACITIES AND AVERAGE SILICA LEAKAGES VERSUS CAUSTIC SODA REGENERANT LEVELS (100% BASIS) AT VARIOUS WEAK-ACID PERCENTAGES AND SILICA PERCENTAGES

Regen. level, lb/ft ³	Capacity, kgr/ft ³			Average silica leakage, ppm				
	% weak acid ^b			% silica ^c				
	25	50	75	10	30	50	70	90
4	10.8	11.8	12.6	0.05	0.19	0.30	0.41	0.53
5	11.7	12.7	13.5					
6	12.2	13.4	14.2	0.02	0.05	0.08	0.12	0.14
8	13.4	14.2	15.0	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09

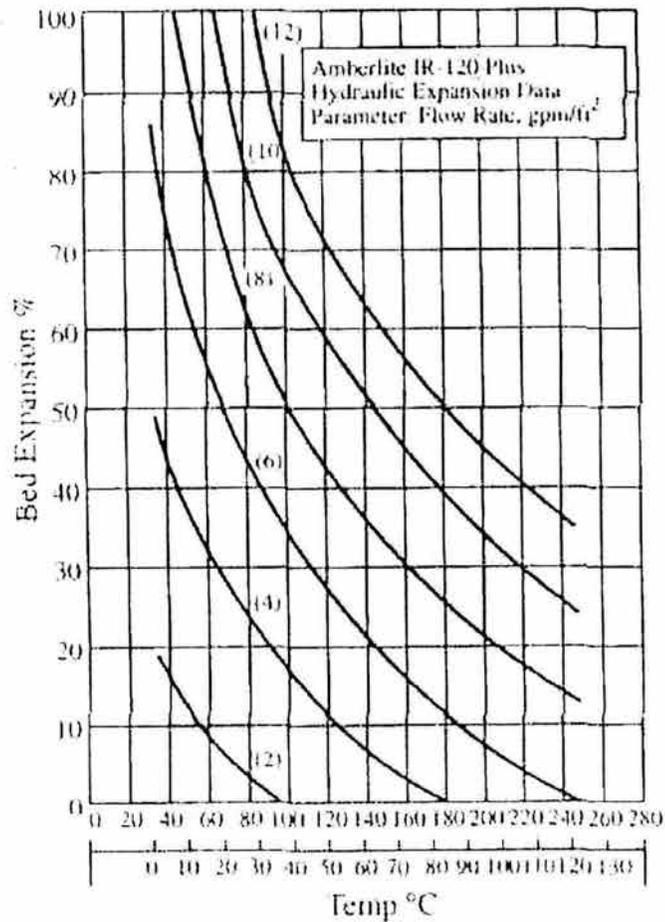
^a Endpoint of run is 0.2 ppm SiO₂ (cation leakage assumed to be 2 ppm). Silica leakages must be increased about 10% for each ppm cation leakage above 2 ppm. Higher water temperatures increase SiO₂ leakage 10% for each 10°F above 75°F. Capacity based on percentage of chloride (as CaCO₃) in total exchangeable anions from 0 to 15%; if chloride is 50% decrease capacity 15%; if chloride is 75%, decrease capacity 25%.

^b Calculated as $(\text{SiO}_2 + \text{CO}_2) \times 100$ in ppm as CaCO₃ per total exchangeable anions or $\text{SiO}_2 + \text{CO}_2/\text{TEA}$ (in ppm as CaCO₃) $\times 100$.

^c Calculated as $(\text{SiO}_2 \times 100)$ in ppm as CaCO₃ per total exchangeable anions; or SiO_2/TEA (in ppm as CaCO₃) $\times 100$.

FUNDAMENTAL PRINCIPLES AND CONCEPTS OF ION EXCHANGE

Figura A1. Datos hidráulicos de retrolavado de la resina Amberlita IR-120.



Hydraulic backwash data. (From Rohm and Haas, Amberlite® IR-120 Plus Specification Sheet, January 1982. With permission.)

APÉNDICE II

- DOCUMENTO PARA LA SOLICITUD DE INFORMACIÓN
- ACUSE DE RECIBO



INFORMACIÓN

UNAM
FACULTAD DE QUÍMICA
PROYECTO A CARGO
FECHA
ASUNTO: SOLICITUD DE

**SUPERINTENDENTE DE SOPORTE A OPERACIONES
PRESENTE**

Por este conducto le solicito de la manera más atenta nos brinde las facilidades para la obtención en copia dura o en su defecto, archivos electrónicos de la información que se lista a continuación:

1. Layout general de la planta Centro Procesador de Gas.
2. Planos de localización de tanques, plantas de proceso, casetas, oficinas, áreas comunes y servicios auxiliares existentes (filtros, suavizadores, equipos para la generación de vapor, torres de enfriamiento, bombas, tratamiento de efluentes y cualquier equipo que maneje agua).
3. Capacidades instaladas (diseño y real) de la plantas de proceso, así como los niveles de producción históricos de un periodo de 5 años.
4. Descripción de proceso y manuales de operación de las plantas de proceso.
5. Diagrama de flujo de proceso con balance de materia de las plantas de proceso.
6. Diagramas de tubería e instrumentación de los tanques, caseta de bomba de agua, plantas de proceso, quemador elevado, separador de líquido de desfogue de baja, sistema de vapor, tratamientos de agua existentes y sistemas de tratamiento de efluentes de agua.
7. Diagramas mecánicos de flujo de los tanques, casetas de bomba, plantas de proceso, quemador elevado separador de líquido de desfogue de baja y tratamiento de agua existentes y sistemas de tratamiento de efluentes.
8. Censo de los equipos incluyendo bombas, plantas de proceso, tanques, intercambiadores de calor, quemadores, motogeneradores, separadores y equipos para tratamiento de agua existentes y sistemas de tratamiento de efluentes.
9. Filosofía de operación de las plantas de proceso y tratamientos de agua existentes.
10. Hojas de datos y especificaciones de tanques, intercambiadores de calor, equipos de las plantas de proceso y bombas (condiciones de operación, material de fabricación y fluido que se maneja).
11. Balance diario de producción de las plantas de proceso del Centro Procesador de Gas para un periodo de 5 años. (Las plantas pueden ser: endulzadoras, recuperadoras de azufre, criogénicas entre otras).

12. Hojas técnicas, costos y balance mensual de sustancias químicas utilizadas en las plantas de proceso, al igual que los pretratamientos de agua a generadores de vapor, torres de enfriamiento y sistemas de tratamiento de efluentes.
13. Hojas de datos de filtros, suavizadores, equipos de generación de vapor, torres de enfriamiento, bombas, etc. de los equipos que manejan agua.
14. Planos de fabricación y construcción de servicios auxiliares existentes (filtros, suavizadores, equipos de generación de vapor, torres de enfriamiento, bombas, tratamiento de efluentes y cualquier equipo que maneje agua).
15. Ubicación de medidores de flujo de agua, programas aforo y control estadístico de los flujos volumétricos para descargas, captación de agua y plantas en general (período 5 años).
16. Puntos de monitoreo, programas de muestreo de agua y reportes de resultados históricos diarios de laboratorio de los parámetros de control para tratamiento de agua, descargas y plantas en general (período 5 años).
17. Especificación de calidad de agua para consumo de cada equipo y área (instrucciones genéricas u operativas).
18. Descripción de los métodos de análisis de laboratorio de los parámetros de control para tratamiento de agua, descargas y plantas en general (instrucciones genéricas u operativas).
19. Condiciones particulares de descarga.
20. Auditorias ambientales.
21. Costo de descarga y captación de agua establecidos por la Comisión Nacional del Agua al Centro Procesador de Gas.

Sin más por el momento aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo y agradecerle su apoyo.

Atentamente

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPIRITU”

REPRESENTANTE DE LA UNAM

c.c.p.Coordinador General del Proyecto UNAM
Coordinador Técnico
Coordinador administrativo

COMPLEJO PROCESADOR DE GAS

Superintendente de soporte a operaciones

FECHA

Relación de información entregada a la UNAM para la elaboración del proyecto

“ _____ ”

No.	Documento/Plano	Descripción	Tipo/Ubicación

Información que deberá ser entregada al término de su consulta.

ENTREGÓ INFORMACIÓN

RECIBIÓ INFORMACIÓN

Vo. Bo.

APÉNDICE III

- CARTA COMPROMISO DE CONFIDENCIALIDAD
- CARTA COMPROMISO DE IMPARCIALIDAD, INDEPENDENCIA E INTEGRIDAD

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

CARTA COMPROMISO DE CONFIDENCIALIDAD

Por este conducto yo _____ (NOMBRE DE LA PERSONA), en pleno uso de mis facultades, me comprometo a guardar la confidencialidad de todo documento e información relacionada con el proyecto: _____ (NOMBRE DEL PROYECTO) y no reproducirlos en ninguna forma, ni permitir que otro lo haga.

Así mismo guardaré confidencialidad con respecto a los procedimientos que se aplicarán en estos proyectos, con relación a mis actividades asignadas. Me comprometo a no divulgar los resultados analíticos de las muestras analizadas, ni el funcionamiento de las instalaciones del Complejo, ni todo aquello que pudiera redundar en perjuicio de _____ (NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN A QUIEN SE PRESTA EL SERVICIO).

Si decidiera terminar mi relación de trabajo con esta Institución , me comprometo a guardar la confidencialidad por un periodo máximo de diez años, a partir de la fecha de terminación de la relación de trabajo.

Estoy de acuerdo en que de no cumplir con las disposiciones y compromisos adquiridos, la Facultad de Química, a través del Departamento Jurídico de la Universidad Nacional Autónoma de México y _____ (NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN A QUIEN SE PRESTA EL SERVICIO), me lo demanden y se tomen las medidas legales fincando las responsabilidades correspondientes al caso. La jurisdicción, para el cumplimiento de la presente carta compromiso, convengo en someterme a la jurisdicción de los Tribunales Federales de la Ciudad de México, Distrito Federal, renunciando a cualquier otro fuero que por razón de domicilio presente o futuro les pudiese corresponder

Previa lectura y con pleno conocimiento de su contenido y alcance legal, se suscribe la presente carta compromiso en la Ciudad de México, Distrito Federal a los __ días del mes de _____ del año dos mil _____.

Nombre completo:

Firma

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

CARTA COMPROMISO DE IMPARCIALIDAD, INDEPENDENCIA E
INTEGRIDAD

Yo _____, en pleno uso de mis facultades, me comprometo a estar libre de presión comercial financiera y/o de cualquier otro tipo que pudiera influenciar mi juicio técnico y actuar imparcialmente al emitir los resultados de los análisis y estudios bajo mi responsabilidad.

Me comprometo a evitar la influencia de cualquier persona(s) u organización(es) ajenas a la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO y a _____(NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN A QUIEN SE PRESTA EL SERVICIO), del proyecto “_____”(NOMBRE DEL PROYECTO),. Me comprometo a evitar realizar cualquier actividad que pueda poner en peligro mi integridad e independencia de juicio en lo que se refiere a mis actividades de pruebas y estudios asignados.

Se firma la presente carta compromiso a los ___días del mes de _____del año 200_

Nombre completo:

Firma

APÉNDICE IV

- FN-111, FORMATO PARA EL LEVANTAMIENTO DE EQUIPO
- FN-112, FORMATO PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LAS CALDERAS

FORMATO PARA EL LEVANTAMIENTO DE EQUIPO

	NOMBRE DEL PROYECTO				FN-111
	PROYECTO	FECHA	REVISIÓN	ELABORÓ	1 de 2
	NOMBRE DEL EQUIPO				
CLIENTE: LUGAR: SERVICIO: LOCALIZACIÓN:	TAG.No. CANTIDAD: TIPO: FABRICANTE:				

LEVANTAMIENTO EN CAMPO						
CORRIENTES DE ENTRADA: _____ CORRIENTES DE SALIDA: _____ TAG: SI _____ NO _____ INFORMACIÓN DISPONIBLE EN TAG: _____	PRESENTAN CORROSIÓN: TUBERÍAS _____ VÁLVULAS _____ BRIDAS _____ CONEXIONES _____ OTROS _____ ESPECIFIQUE _____ PRESENTAN OXIDACIÓN TUBERÍAS _____ VÁLVULAS _____ BRIDAS _____ CONEXIONES _____ OTROS _____ ESPECIFIQUE _____					
APARIENCIA FISICA: PAREDES LIMPIAS SI _____ NO _____ DETERIORO EN PAREDES SI _____ NO _____ INCRUSTACIÓN EN PAREDES SI _____ NO _____ PAREDES CUARTEADAS SI _____ NO _____ CRECIMIENTO BIOLÓGICO O MALEZA SI _____ NO _____ ESCALERAS Y BARANDALES EN BUEN ESTADO SI _____ NO _____	FUGAS EN: TUBERÍAS _____ VÁLVULAS _____ BRIDAS _____ CONEXIONES _____ OTROS _____ ESPECIFIQUE _____ CONDICIONES DE PINTURA EN: TUBERÍAS _____ VÁLVULAS _____ BRIDAS _____ CONEXIONES _____ OTROS _____ ESPECIFIQUE _____					
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN PRESIÓN TEMP. CONTAMINACIÓN EXTERNA BASURA _____ ACEITE _____ OTRAS _____ ESPECIFIQUE _____	SEÑALIZACIÓN DE COLORES: SI _____ NO _____ LETREROS DE SEGURIDAD SI _____ NO _____ FUNCIONAMIENTO DE BOMBAS: _____ _____ CONEXIÓN A DRENAJES: TIPO _____ No. _____					
PRÁCTICA OPERATIVA: _____ _____ _____						
REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ	No. PROYECTO
A						
B						
C						Doc. No.

FORMATO PARA EL LEVANTAMIENTO DE EQUIPO

CARACTERISTICAS ADICIONALES	OBSERVACIONES 2 de 2

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ	No. PROYECTO	
A							
B							
C						Doc. No.	

FORMATO PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LAS CALDERAS

	NOMBRE DEL PROYECTO				FN-112	
	PROYECTO	FECHA	REVISIÓN	ELABORÓ		
	NOMBRE DEL EQUIPO					
CLIENTE:			TAG.No.			
LUGAR:			CANTIDAD:			
SERVICIO:			TIPO:			
LOCALIZACIÓN:			FABRICANTE:			

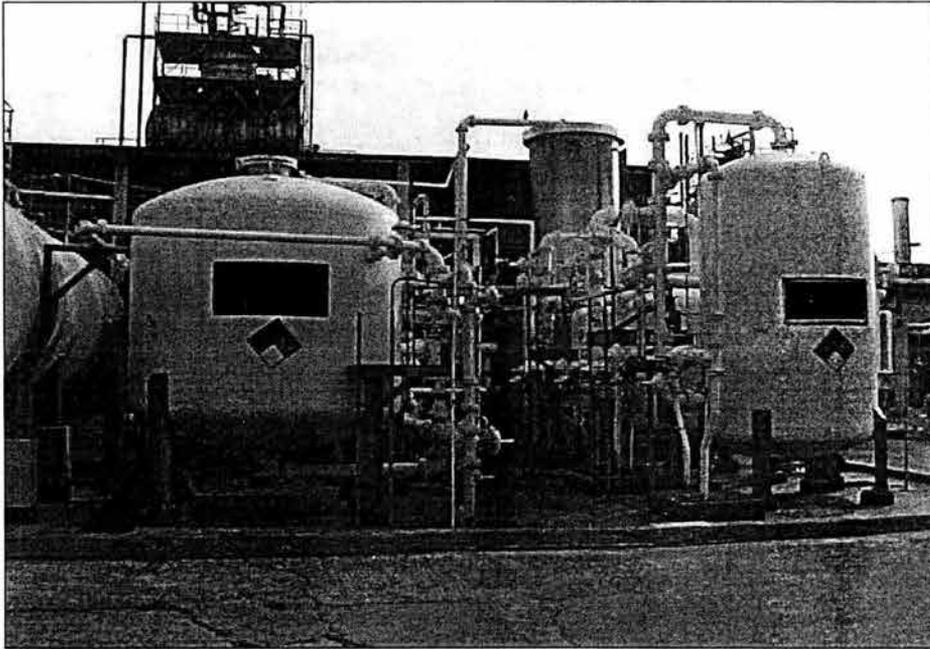
LEVANTAMIENTO EN CAMPO						
DATOS GENERALES DE LA CALDERA:						
TIPO DE CALDERA:		ACUATUBULAR _____		PIROTUBULAR _____		
MARCA:		_____				
AÑO DE FABRICACIÓN:		_____				
PAIS DE PROCEDENCIA:		_____				
TIPO DE COMBUSTIBLE QUE UTILIZA:		FUEL		CRUDO		
		OIL _____		DIESEL _____		BAGAZO _____
				GAS _____		NAL. _____
TIPO DE HOGAR:		AL VACÍO _____		PRESURIZADO _____		
CARACTERISTICAS DE LOS TIROS:						
INDUCIDO MECÁNICO _____		INDUCIDO NATURAL _____		FORZADO MECÁNICO _____		
POSEE:		SOBRECALENTADOR _____		ECONOMIZADOR _____		
		OTROS: _____				
POSEE PRECALENTADOR DEL AGUA A ALIMENTAR:				SI _____ NO _____		
REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ	No. PROYECTO
A						
B						
C						Doc. No.

APÉNDICE V

- FN-113, FORMATO PARA EL LEVANTAMIENTO FOTOGRÁFICO.

FORMATO PARA EL LEVANTAMIENTO FOTOGRÁFICO

	NOMBRE DEL PROYECTO				FN-113
	PROYECTO	FECHA	REVISIÓN	ELABORÓ	
	NOMBRE DEL EQUIPO				



EQUIPO: UNIDAD CATIONICA WI-1/1A Y UNIDAD ANIONICA WI-2/2A/2B

UBICACIÓN: SISTEMA DE DESMINERALIZACIÓN

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ	No. PROYECTO
A						
B						
C						Doc. No.

APÉNDICE VI

- FN-114, FORMATO PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE DRENAJES

APÉNDICE VII

- INSTRUCCIONES OPERATIVAS

INSTRUCCIONES OPERATIVAS¹¹

1. Objetivo

Establecer lineamientos legales para proteger a los trabajadores de compañías contratistas, de tal manera que desarrollen las tareas contratadas sin comprometer su seguridad y salud así como establecer los criterios para identificar, evaluar y mantener actualizados los aspectos ambientales y los impactos asociados dentro de las instalaciones de la planta.

2. Alcance

Esta institución es de observancia obligatoria para todo el personal de la planta involucrado en trabajos realizados por compañías contratistas dentro de las instalaciones controlando los aspectos ambientales de las actividades, productos o servicios y midiendo los impactos derivados de estos como lo marca el sistema de gestión ambiental interno.

3. Requisitos

Esta instrucción genérica está enfocada a todo el personal de compañías contratistas, llámese dueño o representante legal, residente de obra, supervisor de obra, supervisor de seguridad, sobrestantes cabos y obreros, así como el personal supervisor de obra, seguridad y operación de esta planta.

4. Definiciones

4.1. Contratista

Persona física o moral que realiza trabajos de mantenimiento, reparación, carga y descarga, renovaciones mayores y trabajos específicos, en áreas de proceso o adyacentes, bajo contrato con la planta.

4.2. Supervisor de obra

Persona responsable por la planta o la compañía para encargarse de revisar, inspeccionar, probar y recibir los tratos inherentes al contrato.

4.3. Áreas de proceso

Superficie dentro de la cual se encuentran unidades de operación que involucran actividades de uso, almacenamiento, manufactura, movimientos de carga y descarga en sitio de materiales químicos o reacciones de combinación de estos.

4.4. Área adyacente de proceso

Superficie que se encuentra próxima a las áreas de proceso.

4.5. Empresa

Persona moral dedicada a actividades comerciales, para fines de esta instrucción se denominará “empresa” a la planta(cliente).

5. Frecuencia

5.1. De ejecución

Esta instrucción genérica se aplica toda vez que el personal de la compañía contratista empiece una actividad cualquiera que esta sea desde el inicio de la obra, durante y al término de ésta, de tal manera que comprenda su responsabilidad a realizar trabajos en esta empresa.

5.2. De revisión

Esta instrucción genérica se revisa cada dos años.

5.3. De ciclos de trabajo

Para asegurar el buen entendimiento y uniformidad de esta instrucción genérica, por parte de las compañías contratistas se deben hacer ciclos de trabajo tanto como sean necesarios, antes y después de iniciar un trabajo.

6. Documentos de referencia

- 6.1. Ley Federal del Trabajo
- 6.2. Ley del seguro social
- 6.3. Reglamento de seguridad e higiene interno
- 6.4. Normas internas de acceso a personas a las instalaciones de la empresa
- 6.5. Occupation, safety and health standars for general industry
- 6.6. Reglamento interno de tránsito de la empresa
- 6.7. Instrucción genérica de “Observaciones preventivas de SSPA(Seguridad, Salud y Protección ambiental)”-IG-012

7. Seguridad, Salud y Protección Ambiental

Para aplicar la presente instrucción genérica de manera eficiente es necesario difundirla a todo el personal de las compañías contratistas desde bases del concurso, hasta el término de la obra a realizar, evaluando esta en forma periódica por medio de auditorías para que de esta manera el desempeño en la seguridad, salud y protección al medio ambiente identificando los aspectos e impactos ambientales resultantes de actividades, productos y/o servicios que se deben considerar en las condiciones normales y anormales de operación, así mismo es importante que el personal contratista conozca los posibles riesgos involucrados en el desarrollo de una operación y/o actividad, así como también los lineamientos necesarios para lograr una operación segura, confiable y correcta.

8. Responsabilidades

8.1. De la compañía

- 8.1.1. Es su responsabilidad a través de su supervisor de seguridad, cumplir con todas las disposiciones que en materia de seguridad rigen sobre las actividades inherentes al trabajo que desarrolla y a su vez revisar la lista de identificaciones de aspectos ambientales.
- 8.1.2. Es su responsabilidad a través de su supervisor de seguridad, mantener la manera de proteger a sus trabajadores, de tal forma que realicen sus actividades sin comprometer su seguridad y salud dentro de las instalaciones de la empresa y mantener actualizados los aspectos ambientales.

- 8.1.3. Es su responsabilidad a través del supervisor y/o residente de obra, comprobar con documentación del conocimiento y destreza de sus empleados que realicen funciones de seguridad relativas a la (Administración de Seguridad de los procesos) A.S.P., así como presentar referencia del desempeño de estos especialistas.
- 8.1.4. Es su responsabilidad a través del supervisor y/o residente de obra, documentar su destreza, conocimiento y certificación (donde se requiera de acuerdo a la categoría y/o especialidad) para desarrollar el trabajo contratado permitiendo además que el personal de la empresa, evalúe sus métodos y experiencia.
- 8.1.5. Es su responsabilidad a través del supervisor de seguridad, implementar un método que permita mantener estadística de accidentabilidad y dar seguimiento a las actividades que desarrolla, mediante la práctica de utilizar una bitácora de sitio.
- 8.1.6. Es su responsabilidad entregar los resultados obtenidos en la bitácora de actividades al representante de la empresa en lo referente a seguridad industrial.
- 8.1.7. Es su responsabilidad evaluar periódicamente a sus trabajadores en lo relativo al cumplimiento de las disposiciones de SSPA implantadas en las instalaciones de la empresa.
- 8.1.8. Es su responsabilidad a través del supervisor y/o residente de la obra, así como el supervisor de seguridad cumplir con los requerimientos implantados por la empresa referente a la autorización.

8.2. De la empresa

- 8.2.1. Es su responsabilidad a través de su supervisor de obra informar a los contratistas de las reglas, procedimientos y prácticas de seguridad establecidas para proteger a los trabajadores de las compañías contratistas, informando a través de los riesgos del proceso de tal forma que realicen sus actividades sin comprometer su salud y seguridad dentro de las instalaciones de la empresa.
- 8.2.2. Es su responsabilidad a través del jefe de contratos, informar y difundir a los contratistas las reglas y procedimientos y prácticas de seguridad establecidas desde las bases de concurso, así como de obtener los índices de accidentabilidad y experiencia de la compañía contratista, su referencia dentro del ramo donde se desarrollen, cuando los empleados de la compañía tengan que realizar actividades de seguridad industrial y protección al medio ambiente y no se han tenido resultados favorables de su desempeño.
- 8.2.3. Es su obligación a través del supervisor de obra, asegurarse de que el contratista tiene la destreza, conocimiento y habilidad para desarrollar su trabajo y además debe evaluar su desempeño en SSPA y posteriormente en forma periódica identificando los impactos al medio ambiente.
- 8.2.4. Es su obligación a través del supervisor de obra, implantar un método que permita mantener una estadística de accidentalidad y dar seguimiento a las actividades de los trabajadores dentro de las áreas de proceso o adyacentes a esta, mediante la práctica de usar la bitácora de sitio.
- 8.2.5. Los resultados obtenidos de la bitácora de sitio deberán ser proporcionados al pareo de contratos para que de tal manera les sirva como herramienta en el reporte, investigación y prevención de accidentes.
- 8.2.6. Es su obligación de SSPA a través del coordinador de preparación y respuesta a la emergencia, explicar el plan de respuesta, control de emergencia y protección al medio ambiente realizando auditorias de seguridad y protección ambiental.

- 8.2.7. Es su obligación a través del supervisor de obra, mantener un sistema de autorización que lo mantenga informado de las actividades del contratista que le permita coordinar y controlar técnica y administrativamente los trabajos de inicio y continuidad en las áreas de proceso.
- 8.2.8. Es su obligación a través del presidente del subcomité de los subcontratistas o quien designe, establecer los canales de comunicación de la empresa y los contratistas con relación a seguridad, salud y protección ambiental.

9. Desarrollo

9.1. Relativo a la Empresa

- 9.1.1. La manera para proteger a los trabajadores de compañías contratistas dentro de las instalaciones se desarrollará de la manera siguiente:
- 9.1.2. El supervisor de obra solicitará al contratista antes del primer día de labores un censo de empleados contratados para la realización del trabajo con el siguiente contenido: nombre del empleado, categoría, afiliación al IMSS, nombre de la compañía, fecha del censo, número y descripción del contrato, el cual deberá estar firmado por el supervisor de seguridad de la compañía.
- 9.1.3. El supervisor de obra de la empresa, entregará al contratista un programa de SSPA calendarizado, para su cumplimiento, antes de iniciar sus labores donde se contemple como instrucción mínima para sus empleados lo siguiente: plática sobre las reglas básicas de seguridad e higiene en las instalaciones de la empresa, plática referentes a instrucciones genéricas, y a la normatividad para el acceso a las instalaciones de la empresa, plática-práctica referente a los procedimientos de emergencia y evacuación de personal en las áreas de proceso, plática-práctica referente al sistema de autorización de trabajos potencialmente peligrosos y plática del control y respuesta a la emergencia y alguna otra práctica que a criterio y de común acuerdo consideren ambas partes necesario impartir de acuerdo con la actividad específica a desarrollar, este deberá ser firmado por el supervisor de obra de la compañía, supervisor de seguridad de la compañía, así como supervisor de obra de la empresa el cual impartirá el curso sobre SSPA, además es importante una plática-práctica de la identificación de aspectos e impactos ambientales en sus diferentes actividades que realizan dentro de las instalaciones de la empresa.
- 9.1.4. El supervisor de obra entregará a la compañía contratista un documento que certifique que cada uno de sus empleados ha recibido pláticas contenidas en el programa referido en el párrafo anterior y que contendrá los siguientes datos: Nombre de la compañía, Nombre del empleado, ficha de afiliación al IMSS, categoría, fecha de adiestramiento, firma del asesor de seguridad de SPA, firma del supervisor de obra de la compañía, firma del supervisor de obra de la empresa, y vigencia del certificado, quedándose con copia estos certificados cada uno de 19s supervisores mencionados.
- 9.1.5. El supervisor de obra solicitará a la compañía una bitácora de sitio para el control de accidentes leves y graves que contenga lo siguiente; fecha y hora en que ocurrió el accidente, nombre del trabajador accidentado, categoría y sitio donde ocurrió el accidente, tipo de accidente relato de cómo ocurrió que incluya la parte afectada, firma y nombre del supervisor de obra y supervisor de la compañía.

APÉNDICE VIII

- LABORATORIOS DE PRUEBA ACREDITADOS Y APROBADOS VIGENTES

Laboratorios de Prueba Acreditados y Aprobados Vigentes¹⁴

1. MICROANALISIS S.A. DE C.V. General Sóstenes Rocha No. 28 Col. Magdalena Mixhuca, C.P. 15850 , México, D.F. Tel. 57 68-78-33. Fax 57 64 02 95 Representante Autorizado I.Q. Raúl Escobar Márquez
2. MSA DE MÉXICO S.A. DE C.V. Francisco I Madero No. 84, Fracc. San Andrés Atoto, Naucalpan de Juárez, C.P. 53510, Edo. de México. Tel/Fax. 5576 4066/5359 4330 Representante Autorizado José Plácido Juárez Santos
3. LABORATORIO MICROANALITICO DE CONTROL, S.A. DE C.V. Privada Jardín No. 8, Col. Atlántida, C.P. 04370, México, D.F Tel. 56 89 07 14 Fax 56 89 07 36 Representante Autorizado ING. Jorge A. Rodríguez E.
4. PROCURADURÍA FEDERAL DEL CONSUMIDOR Alemania No. 14, Col. Parque San Andrés México D.F. Tel. 55 44 21 22 Fax. 55 44 15 04 Representante Autorizado ING. José Carlos de la Torre Jaureguinberry
5. ASOCIACION NACIONAL DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION DEL SECTOR ELECTRICO, A.C. Av. Puente de Tecamachalco No. 6, Col. Fuentes de Tecamachalco, C.P. 53950 Naucalpan de Juárez, Edo. de México Tel. 55 20 90 26 , 55 20 89 26 Fax. 55 20 88 00 Representante Autorizado Ing. Jorge Alfonso Amaya SarraLangui LPSTPS-006 (04 05 2001) EE-015-103/00 04 04 2001 - 06 09 2002
6. CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ASESORÍA TECNOLÓGICA EN CUERO Y CALZADO A. C. LABORATORIO DE PRUEBAS FISICAS Omega No. 201, Fracc. Delta, C.P. 37000 León, Gto. Tel. (01 47) 11 10 99, Fax. (01 47) 11 35 32 Representante Autorizado Ing. Fernando Chico Ruiz LPSTPS-007 (01 08 2000) MM-007-076/00 05 07 2002
7. KAMPE S.A. DE C.V. Emma No. 105, Col. Nativitas, C.P. 03500, México, D.F Tel. 56 96 68 19 Fax. 56 96 68 75 Representante Autorizado ING. Ramón Arnaud Huerta
8. CONTROL QUIMICO NOVAMANN INTERNACIONAL, S.A. DE C.V. Río Mixcoac No. 69, Col. Crédito Constructor, C.P. 03940, México, .D.F. Tel. 56 61 99 79, Fax. 56 63 14 47 Representante Autorizado Q. Beatriz López de Cattori Q. Pedro Catorri Conzelmann
9. LABORATORIOS DE SERVICIOS CLINICOS Y ANÁLISIS TOXICOLOGICOS, S.A. Sierra de Alamitos No. 4902-A. Col. Villa Mitras, C.P. 64170, Monterrey, Nuevo León Telefax (01)(8) 311 36 69 Representante Autorizado QFB. Yolanda Molina Recio
10. PROFESIONALISMO ECOLÓGICO S.A. DE C.V. Sierra de Alamitos No. 4902-B. Col. Villa Mitras, C.P. 64170, Monterrey, Nuevo León Telefax: 018 373 57 79 -018 322 36 69 Representante Autorizado QFB. Yolanda Molina Recio

LABORATORIOS DE PRUEBA ACREDITADOS Y APROBADOS VIGENTES

11. INGENIERIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, S.A. DE C.V. Río Colorado No. 436, Col. Arquitos. Santiago de Querétaro, 76048, Querétaro. Telefax: 01 (42) 13 06 12 Representante Autorizado QFB. Irma Retana Caballero e IQ. María de los Angeles Retana
12. PROTECCIÓN AMBIENTAL Y ECOLOGÍA, S.A. DE C.V. Acueducto de Guadalupe No. 601, Col. Guadalupe Ticomán, Alvaro Obregón, México, 07350, D.F. Telefax: 57 52 55 30 y 55 86 46 35 Representante Autorizado Físico Juan Ríos Vega
13. ASESORES EN CONTROL AMBIENTAL INTEGRAL, S.A. DE C.V. Libertad No. 8 San Martín Tepetlixpan, Cuautitlán Izcalli C.P. 54763 México Tlefax 01 (5) 893 30 48, 58 93 16 58 Representante Autorizado ING. Manuel A. Hernández Quevedo ING. Alejandro Camacho Jiménez
14. MICROHINDUST, S.A. DE C.V. Gral. Sostenes Rocha No. 28, Col. Magdalena Mixhuca C.P. 15850, México D.F. Telefax 57 68 78 33, 57 64 02 95 Representante Autorizado I.Q. Raúl Escobar Márquez CIH.
15. ANALISIS AMBIENTAL, S.A. DE C.V. José Antonio Torres No. 691 Col. Ampliación Asturias, C.P. 06890, México, D.F. Tel. 57 40 30 73, Fax. 57 40 95 40 Representante Autorizado Ing. Juan Rodríguez García.
16. MICROANALISIS TOXICOLOGICOS, S.A. DE C.V. Av. J. Cantu Leal No. 255, Fracc. Estadio. C.P. 61830. Monterrey Nuevo León. Tel. 018 359 93 35 Fax. 018 387 09 77 Representante Autorizado Dr. Jesús M. Treviño Cantú y Dr. Jesús de la Cruz Martínez
17. TECNOLOGIA AMBIENTAL E INGENIERIA, S.A. DE C.V. Pedro Rosales de León No. 7720-105, C.P. 32500, Ciudad Juárez Chihuahua Tel. 0116 18 06 72 Fax. 0116 18 0672 Representante Autorizado Ing. Conrado Díaz Quiz
18. ACAL DE MONTERREY, S.A. DE C.V. Tulancingo No. 1425, Col. Mitra Centro, C.P. 64460, Monterrey Nuevo León. Tel 018 348 90 80 Fax. 348 90 80 Ext. 09 Representante Autorizado Ing. Rosario Alvarez Gutiérrez
19. INDUSTRIAL DE FOSFATOS, S.A. DE C.V. Av. División del Golfo No. 3308, Fracc. La Libertad, C.P. 87019, Ciudad Victoria Tamaulipas. Tel. 131 3 03 03 Fax. 131 303 01 Representante Autorizado Ing. Carlos Alvarez Cordero
20. LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICOS INDUSTRIALES (GUTLAB) Pascual M. Hernández No. 746-B, Barrio San Miguelito, C.P. 7800, San Luis Potosí, S.L.P. Tel. 0148 12 65 10. Fax. 0148 12 74 85 Representante Autorizado Q. Ma. del Carmen Gutiérrez Labra
21. SOCORRO MARTÍNEZ PEÑALOZA/MICROLAB Calz. Vallejo No. 1110-A, Desp. 301, Col. Fracc. Prado Vallejo, C.P.54170, Tlalnepantla, Edo. de México. Tel./Fax: 53 88 61 32 E-mail: microlab@mpsnet.com.mx Representante Autorizado: Ing. Genaro Escobar Márquez

LABORATORIOS DE PRUEBA ACREDITADOS Y APROBADOS VIGENTES

22. MOVILAB, S.A. DE C.V. Paseo de Francia No. 163 1° piso, Col. Lomas Verdes, 3° Secc. C.P. 53120. Naucalpan de Juárez, Estado de México. Tel/Fax : 53 44 21 21 E-mail: movilab@netservice.com.mx Representante autorizado Q. Ricardo Aguiar Meugniot
23. CENTRO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA. UNIDAD AZCAPOTZALCO- INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL. LABORATORIO DE CONTROL AMBIENTAL Cerrada CECATI S/N, Col. Santa Catarina, C.P. 02550, México, D.F. Tel 5729 6000 ext. 64339 y 64350 Fax : 5561 7536 Representante autorizado Ing. Sandra Soledad Morales García
24. LABORATORIO DE ECOLOGÍA INDUSTRIAL, S.A DE C.V. Alfonso Herrera No. 75 2° piso, Col. San Rafael, C.P. 06470. México, D.F. Tel 5535 8930 Fax : 5592 7069 E-mail leisa@dfi.telmex.net.mx Representante autorizado Ing. Angela Gudiño Ramírez
25. LABORATORIO DE PRUEBAS DE PQS DE ANSUL MÉXICO, S.A. DE C.V. Carretera Tlalnepantla-Cuautitlán No. 1100, C.P. 54900, Tultitlán Estado de México. Tel. 58 99 08 99/ 58 99 08 28 Fax 58 99 08 98 Representante Autorizado Ing. Artemio Vázquez Ortega

APÉNDICE IX

- FORMATO, MUESTREO DE AGUA RESIDUAL
- FORMATO, CADENA DE CUSTODIA

LOGOTIPO DEL
LABORATORIO

MUESTREO DE AGUA

Hoja__ de __

I. INFORMACIÓN GENERAL DEL ESTABLECIMIENTO

Empresa: _____

Dirección: _____

_____ Teléfono: _____

Responsable del establecimiento: _____

Actividad del establecimiento: _____

II. IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO

Fecha del muestreo: _____ Hora del muestreo: _____

Punto de muestreo: _____

Descripción detallada del punto de muestreo y croquis de localización: _____

CROQUIS

III. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

No. de serie del equipo empleado: _____

Valor de pH de la muestra con papel indicador: _____

Solución de referencia	Lectura inicial	Lectura después de ajustar el equipo	Temperatura de la solución

RESPONSABLE DEL ESTABLECIMIENTO	RESPONSABLE DEL MUESTREO	RESPONSABLE DEL TRANSPORTE DE LA MUESTRA AL LABORATORIO
Nombre y firma	Nombre y firma	Nombre y firma

Dirección del laboratorio

FORMATO MUESTREO DE AGUA RESIDUAL INSTANTÁNEA

LOGOTIPO DEL
LABORATORIO

MUESTREO DE AGUA

Hoja__ de __

IV. DATOS DE CAMPO

Fecha	Hora de muestreo	Temperatura (°C)	PH	Materia flotante	Gasto (L/min)	Olor	Color

Materia flotante:	Ausente () Presente ()
-------------------	-----------------------------

Conductividad (µMhos)	
-----------------------	--

V. MEDICIÓN DEL GASTO VOLUMETRICO

Dimensiones del ducto
 Diámetro (D): _____ m Radio (r): _____ m
 Metodo volumétrico: _____

Fecha	Hora	Aforo (mL)	Tiempo (seg)	Gasto volumetrico(L/s)

VI. PREPARACION DE LA MUESTRA COMPUESTA

Fecha	Hora	Gasto Qi (L/s)	Fracción Prop. $X_i = Q_i / \sum Q_i$	% Dist. Para la muestra comp.	Vol. (mL) requerido para ___ L de mtra c.

VI. OBSERVACIONES: _____

Dirección del laboratorio

CADENA DE CUSTODIA

DIRIGIR EL INFORME A				FACTURAR EL SERVICIO A				PRIORIDAD	Indicar Parametros y Métodos Solicitados									
Razon Social: <u>INDUSTRIAL DE ALUMINOS</u>				Razon Social: <u>INDUSTRIAL DE ALUMINOS</u>				Tiempo de Entrega:	A: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> B: <u>Tubos de Aluminio</u> C: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> D: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> E: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> F: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> G: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> H: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> I: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> J: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> K: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> L: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> M: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> N: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> O: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> P: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> Q: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> R: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> S: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> T: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> U: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> V: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> W: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> X: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> Y: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u> Z: <u>Aluminio (Fe, Si, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, S, P, Cl, Br, I, F, Cloruro)</u>									
Dirección: <u>Carretera a El Estero de los Hornos</u>				Dirección: <u>Carretera a El Estero de los Hornos</u>				A										
Atención: <u>Ing. J. A. García</u>				Atención: <u>Ing. J. A. García</u>				B										
Teléfono: <u>36 66-2333</u>				Teléfono: <u>36 66-2333</u>				C										
Fax: <u></u>				Fax: <u></u>				D										
RFC: <u>UNA 28427315</u>				RFC: <u>UNA 28427315</u>				E										
Nombre del Proyecto: <u>4</u>				O Mtro: <u></u>				F										
Muestreo		Datos de la muestra				Contenedores				Identificación								
Fecha	Hora	Temp	Metro	Identificación				V	T	A	V	I	E	P	O	LEISA		
20/08/02	19:40	5	A	Cambio de la Fosa de Desmetalización												3662-066 02 1		
20/08/02	19:25	5	A	Alimentación a Desmetalización													3662 02 2	
20/08/02	19:30	5	A	Cambio de agua desmetalización													3662 02 3	
Muestreado por: Empresa: Fecha: Firma: Recibido por: Fecha: Hora: Firma: Para uso exclusivo del Laboratorio																		
Muestreado por: <u>D. R. G.</u> Empresa: <u>INDUSTRIAL DE ALUMINOS</u> Fecha: <u>20/08/02</u> Hora: <u>19:40</u> Firma: <u>[Firma]</u> Recibido por: <u>[Firma]</u> Fecha: <u>20/08/02</u> Hora: <u>19:40</u> Firma: <u>[Firma]</u>																		
Observaciones: <u>Trabaja en desmetalización. Se desmetaliza con agua de la fosa. Se cambia el agua de la fosa y se alimenta con agua de la fosa.</u>																		
Tiempo de Entrega: <u>480</u>																		

APÉNDICE X

- LISTA DE PROVISIONES PARA EL MUESTREO EN CAMPO
- LIMPIEZA DEL EQUIPO PARA MUESTREO EN CAMPO
- CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE MUESTREO EN CAMPO
- ORDEN DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS
- PROCEDIMIENTOS PARA EL MUESTREO EN CAMPO

• **LISTA DE PROVISIONES PARA EL MUESTREO EN CAMPO¹⁰**

1. Mapa de localización de estaciones.
2. Credencial de trabajo, identificación oficial.
3. Autorización de trabajo.
4. Libreta de campo.
5. Plumas, marcadores con tinta indeleble y lápices.
6. "Masking Tape" y ligas.
7. Hojas de levantamiento fotográfico.
8. Hojas de levantamiento en campo.
9. Hojas de levantamiento topográfico.
10. Hojas de Formato custodia.
11. Otras formas.
12. Botiquín de primeros auxilios, cuchillo.
13. Sombrero, bloqueador.
14. Lentes de sol o lentes de seguridad.
15. Guantes de cuero.
16. Zapatos de seguridad.
17. Impermeable para lluvia.
18. Caja de herramienta con herramientas básicas.
19. Cinta para medir.
20. Linterna con pilas extras.
21. Uniforme.
22. Cuerda.
23. Casco liviano.
24. Cámara, rollo.
25. Flexómetro.
26. Cronómetro.
27. Calculadora.
28. Termómetros sin mercurio.
29. Medidor de pH y buffers, cinta indicadora de pH.
30. Medidores, sondas de temperatura, conductividad redox y oxígeno disuelto y pilas.
31. Copias de los manuales de fabricantes del equipo de campo.
32. Regla de madera de 1.8 metros (6pies).
33. Medidor de flujo, varilla y cinta de medir.
34. Hieleras selladas y envases.
35. Bolsas de hielo.
36. Termómetro de temperatura máxima y mínima.
37. Tapas recubiertas con teflón (para radón y orgánicos volátiles y semivolátiles).
38. Tiosulfato de sodio o ácido ascórbico (para orgánicos volátiles si cloro está presente).
39. Preservadores (Ej. HNO_3 , HCl , H_2SO_4 , HgCl_2).
40. Frasco de vidrio (Radón y orgánicos volátiles).
41. Botella de vidrio ámbar (para orgánicos semivolátiles).
42. Ácido sulfúrico concentrado (para fenoles, grasas y aceite).
43. Botella de plástico con tapa de rosca (para metales).
44. Ácido ascórbico y lentejas de hidróxido de sodio (para cianuro).
45. Guantes de nitril o de látex.

-
-
46. Detergente sin fosfatos.
 47. Agua de llave.
 48. Agua dionizada.
 49. Botella de goma flexible para el agua DI.
 50. Enjuague de 0.1 N ácido nítrico (para muestras con metales).
 51. Solvente grado de pesticida, como hexano (para muestras con compuestos orgánicos volátiles o no volátiles).
 52. Rollo de papel aluminio.
 53. Bolsa de plástico con sellado.
 54. Desechables guantes descontaminados de nitril o látex.
 55. Bolsas de Whirl-pak esterilizadas (coliformes fecales).
 56. Agua deionizada y esterilizada.
 57. Jabón antibacteriano.

• **LIMPIEZA DEL EQUIPO PARA MUESTREO EN CAMPO¹⁰**

1. Limpiar con detergente sin fosfatos.
2. Enjuagar con agua de la llave preferentemente.
3. Enjuagar con una solución al 10% de ácido nítrico (si es que existe la posibilidad de contaminación de metales).
4. Enjuagar con agua deionizada/destilada.
5. Enjuagar con solvente grado plaguicidas (si es que existe la posibilidad de contaminación por medio de orgánicos semivolátiles o volátiles).
6. Enjuagar dos veces con agua deionizada/destilada.
7. Enjuagar con agua libre de compuestos orgánicos de grado.
8. Secar con aire o ventilar con nitrógeno en un ambiente sin polvo.
9. Envuelva el equipo limpio inorgánico en celofán y el equipo limpio orgánico en papel aluminio para el transporte al sitio.

• **CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE MUESTREO EN CAMPO¹⁰**

El equipo de campo usado para medir los parámetros físicos, tiene que ser calibrado antes de que se puedan tomar las muestras de calidad del agua. Ya que existe una gran variedad de instrumentación usada para el muestreo del agua, se recomienda leer siempre las indicaciones dadas por el fabricante, en donde se describen la operación y calibración de los equipos suministrados. Se recomienda llevar consigo las copias de los manuales del fabricante, al sitio donde se efectuaran los trabajos. Además se deberá contar con los manuales existentes en donde se describan los procedimientos de calibración para los parámetros de temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, así como los referentes a los medidores de turbidez. Es importante que se documenten los resultados de la calibración de acuerdo a estos procedimientos y se anoten los resultados en la bitácora de campo.

- **ORDEN DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS¹⁰**

Después de obtener la medición de los parámetros de campo, coleccionar las muestras para los análisis de la calidad del agua en el orden de sensibilidad de la pérdida de los gases de los diferentes parámetros:

1. Radón.
2. Compuestos orgánicos (VOC).
3. Carbono orgánico purgable (POC).
4. Halógenos orgánicos purgable (POX).
5. Carbón orgánico total (TOC).
6. Halógeno orgánico total (TOX).
7. Orgánico extraíbles.
8. Metales totales.
9. Metales disueltos o lixiviados.
10. Fenoles.
11. Cianuro.
12. Sulfatos y cloruros.
13. Turbidez.
14. Nitratos y amoníaco.
15. Radionucléidos (Alfa y Beta Total, Uranio/ Radio).
16. Contenido microbiológico (bacterias y virus).

- **PROCEDIMIENTOS PARA EL MUESTREO EN CAMPO¹⁰**

- **Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCS).**

Debido a que las muestras de VOC tienen un potencial de evaporar y degradar, estas necesitan procedimientos especiales para su colección, preservación y manejo. Siempre se deberá utilizar frascos ámbar de 40-mL que hayan sido limpiados por el laboratorio, se recomienda llenarlos con una taza de bajo flujo (<0.5 L/min), preservarlos con 25 mg de ácido ascórbico (si el cloro residual está presente), y dos o más gotas de ácido clorhídrico (HCl, un biocida) para reducir el pH hasta <2, y enviarlos al laboratorio dentro de los tiempos de vigencia recomendados. A menos que haya factores del sitio que pudieran modificar el procedimiento, para tal fin se recomienda el método siguiente para el muestreo de VOC:

1. Obtenga por lo menos, cuatro frascos ámbar etiquetados de 40-mL para cada estación de muestreo. Use el primero para probar la cantidad correcta de HCl que se tiene que agregar para reducir el pH de la muestra abajo de 2, y use los otros para coleccionar las muestras faltantes y en caso de ser necesario las muestras duplicadas. Dado que el pH de las muestras podría variar de una estación a otra, puede ser que se necesiten diferentes cantidades de HCl agregado, suficientemente para reducir su pH y poder mantener la integridad de la muestra.
2. Con una pipeta limpia, agregar dos gotas de HCl 1:1 (una gota para cada 20 mL) a la muestra. Como el ácido es más pesado que el agua consecuentemente se hundirá al fondo. Si se sospecha que está presente el cloro residual, se recomienda agregar 25 mg. de ácido ascórbico al frasco. Utilizando guantes y lentes de seguridad, llenar completamente el frasco de prueba de pH con la bomba, envase abierto o llave. Tapar el frasco con el lado de PFTE (teflón) del septo hacia abajo, y agitar vigorosamente durante un minuto. Abra el frasco y verifique con un medidor de pH sea menos que 2. Anotar la cantidad de ácido usada en esta estación en la bitácora de campo. Ponga la muestra en el envase de agua purgada y colocar el frasco en otro lugar.
3. Llenar las etiquetas de muestra con tinta impermeable. Además de el nombre y el número de muestra, anotar los preservadores usados, y la ubicación exacta, fecha y hora de la colección de la muestra.
4. Basado en la prueba de pH, agregar dos o más gotas de 1.1 HCl con una pipeta limpia al segundo frasco. Se hundirá al fondo. Se recomienda tener cuidado con el manejo de HCl, ya que puede causar quemaduras graves.
5. Manteniendo el frasco con un ángulo, lentamente llénelo con una taza de bajo flujo de 0.11/min hasta que esté lo más lleno que sea posible. Para evitar aeración, otro método alternativo es introducir la tubería en el frasco, y sacarla mientras que la superficie del agua suba. Tenga cuidado de no sobrellenar y que se vaya a provocar un derrame del ácido ascórbico.
6. Llenar la tapa con el agua de muestra y luego agregarle lentamente al frasco para formar un menisco (la superficie curvada formada arriba del agua formada por tensión superficial).
7. Atornillar la tapa para que el lado de PFTE del septo esté hacia abajo. No sobre atornillar ya que se puede ocasionar ruptura en el sello y por consiguiente fuga del líquido.

-
-
8. Invierta el frasco y golpee levemente. Si aparecen burbujas, destape el frasco, agregar más agua al menisco, tápalo de nuevo, invierta y repita este paso, hasta que no aparezcan las burbujas.
 9. Agitar el frasco durante un minuto.
 10. Repita los pasos 4-9 arriba citados, para las muestras duplicadas de QA/QC, para los blancos del equipo y para las muestras divididas si es necesario.
 11. Envuelva los frascos en un empaque de burbujas u otro tipo de material para amortiguar y evitar su ruptura. Almacenar los frascos invertidos en una hielera que contenga hielo a una temperatura de 4°C con un termómetro de máximo/mínimo, y enviarlo para entrega inmediata. Se recomienda mantener las muestras lejos de los vapores orgánicos.
 12. Analice las muestras durante los 14 días siguientes.

➤ **Procedimientos para contaminantes orgánicos semivolátiles**

Se recomienda usar el siguiente procedimiento para todos los orgánicos semivolátiles, (también identificados como compuestos extraíbles en ácido base neutral):

1. Llenar dos botellas de vidrio ámbar de 1 L, (No es necesario llenarlas completamente).
2. Tapar con un septo recubierto con teflón y una tapa de plástico con rosca.
3. Llenar frascos adicionales para los blancos de campo y equipo, duplicados o muestras divididas, los que sean necesarios.
4. Almacenar los frascos en una hielera que contenga hielo al tope, con termómetro de mínimo / máximo a 4°C.
5. Asegurarse de que el laboratorio que va a analizar comience la extracción de líquido dentro de los 5 días siguientes.

➤ **Procedimiento para metales(excepto mercurio)**

Se recomienda usar el siguiente procedimiento para todos los metales excepto el mercurio. Se deberá apegar al plan de muestreo previamente aprobado, para determinar si se requieren muestras filtradas o muestras sin filtración.

1. Filtrar la muestra utilizando un filtro de cápsula, si son metales disueltos que se van a analizar.
2. Llenar una botella de plástico del 1L con etiqueta evitando aireación.
3. Agregar ácido nítrico para reducir el pH bajo 2. Utilizar guantes y lentes de seguridad cuando se maneja ácido.
4. Tapar con una tapa y contratapa
5. Llenar los frascos adicionales para los blancos de campo y equipo, duplicados o muestras divididas, como sea necesario.
6. Refrigerar la muestra a 4°C hasta realizar su análisis
7. Analizar esta muestra antes de cumplir 6 meses.

➤ **Procedimiento para nitratos**

-
-
1. Llenar una botella de polietileno de 500 mL.
 2. Agregar ácido sulfúrico (2 mL. de H_2SO_4 densidad 1.84 g/L por litro de muestra). Usar guantes y lentes de seguridad cuando se maneja ácido.
 3. Tapar con tapa y contratapa las botellas.
 4. Llenar un frasco de 250 mL., para el análisis de los blancos de campo y equipo.
 5. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
 6. Analizar esta muestra antes de los 14 días.

➤ **Procedimiento para cloruros**

1. Llenar una botella de polietileno de 500 mL.
2. Tapar con tapa y contra tapa la botella.
3. Llenar un frasco de 250 mL., para analizar los blancos de campo y equipo.
4. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
5. Analizar antes de cumplir las 72 horas.

➤ **Procedimiento para sustancias activas al azul de metileno**

1. Llenar una botella de polietileno de 500 mL.
2. Tapar con tapa y contra tapa la botella.
3. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
4. Analizar la muestra antes de cumplir las 48 horas.

➤ **Procedimiento para pH**

1. El pH de la muestra se debe determinar de inmediato en un frasco de vidrio o de polietileno de 500 mL.

➤ **Procedimiento para conductividad eléctrica**

1. Llenar una botella de polietileno de 250 mL.
2. Tapar con tapa y contra tapa la botella.
3. Llenar una botella de polietileno de 250 mL para los blancos.
4. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
5. Analizar la muestra antes de cumplir los 28 días.

➤ **Procedimiento para grasas y aceites**

1. Llenar una botella de vidrio de boca ancha y tapón esmerilado.
2. Adicionar HCl hasta llegar a un pH = 2.
3. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
4. Analizar la muestra antes de cumplir los 28 días.

➤ **Procedimiento para sólidos sedimentables**

1. Llenar una botella de polietileno de 1000 mL.
2. Tapar con una tapa y contratapa la botella.
3. Llenar un frasco de 500 mL para los blancos de campo.
4. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
5. Analizar la muestra antes de cumplir los 14 días.

➤ **Procedimiento para nitrógeno total**

1. Llenar una botella de polietileno de 500 ml.
2. Adicionar 0.8 ml de H₂SO₄ concentrado por litro.
3. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
4. Analizar la muestra antes de cumplir los 14 días.

➤ **Procedimiento para fosfatos**

1. Llenar una botella de polietileno de 100 mL.
2. Tapar con tapa y contratapa.
3. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
4. Analizar antes de 48 horas.

➤ **Procedimiento para fenoles**

1. Llenar un frasco de polietileno de 500 mL.
2. Igualar (acidule) un pH = 4 con ácido fosfórico.
3. Adicionar 1 g de CuSO₄*5H₂O por cada litro de agua.
4. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
5. Analizar antes de 28 días.

➤ **Procedimiento para color**

1. Llenar una botella de vidrio o polietileno de 100 mL.
2. Tapar con tapa y contratapa el frasco.
3. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
4. Analizar antes de 48 horas.

➤ **Procedimiento para materia flotante**

1. La materia flotante se debe determinar de inmediato en el sitio de muestreo mediante la separación de esta en una malla de 3 mm de abertura.

➤ **Procedimiento para DQO**

1. Llenar una botella de vidrio de 300 mL.
2. Añadir ácido sulfúrico concentrado hasta un pH < 2.0.
3. Tapar con tapa y contratapa el frasco.
4. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
5. Analizar antes de 28 días.

➤ **Procedimiento para DBO**

1. Llenar una botella de vidrio de 300 mL con tapa esmerilada.
2. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
3. Analizar antes de 24 horas.

➤ **Procedimiento para Boro**

1. Llenar una botella de 100 mL. de polietileno.
2. Adicionar ácido nítrico hasta obtener un pH < 2.0
3. Tapar con tapa y contratapa el frasco.
4. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.

5. Analizar antes de 6 meses.

➤ **Procedimiento para cromo hexavalente**

1. Llenar una botella de vidrio de 300 mL.
2. Acidificar con ácido nítrico concentrado hasta un $\text{pH} < 2.0$.
3. Tapar con tapa y contratapa el frasco.
4. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
5. Analizar antes de 24 horas.

➤ **Procedimiento para sulfatos**

1. Llenar una botella de polietileno de 250 mL.
2. Tapar con tapa y contratapa el frasco.
3. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
4. Analizar antes de 28 días.

➤ **Procedimiento para sulfuros**

1. Llenar una botella de polietileno de 100 mL.
2. Adicionar 4 gotas de acetato de Zinc 2N.
3. Tapar con tapa y contratapa.
4. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
5. Analizar antes de 48 días.

➤ **Procedimiento para fluoruros**

1. Llenar una botella de polietileno de 500 mL.
2. Tapar con tapa y contratapa.
3. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
4. Analizar antes de 28 días.

➤ **Procedimiento para carbonatos y bicarbonatos**

1. Llenar una botella de polietileno de 500 mL.
2. Tapar con tapa y contratapa.
3. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
4. Analizar antes de 48 días.

➤ **Procedimiento para coliformes**

1. Llenar una botella de vidrio esterilizado de 125 mL.
2. Tapar inmediatamente.
3. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
4. Analizar antes de 24 horas.

➤ **Procedimiento para cianuros**

1. Llenar un frasco de polietileno de 500 mL.
2. Tapar con tapa y contratapa el frasco.

-
-
3. Llenar un frasco de 250 mL, para los blancos de campo y equipo.
 4. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
 5. Analizar antes de 48 días.

➤ **Procedimiento para fluoruros**

1. Llenar un frasco de polietileno en 500 mL.
2. No se requiere de ningún tratamiento especial en campo.
3. Llenar un frasco de 250 mL para los blancos de campo y equipo.
4. Tapar con tapa y contratapa el frasco.
5. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
6. Analizar antes de 28 días.

➤ **Procedimiento para mercurio**

1. Llenar un frasco de polietileno de 500 mL.
2. Preservar con ácido nítrico concentrado hasta que el pH de la muestra sea aproximadamente uno.
3. Tapar con tapa y contratapa el frasco.
4. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
5. Analizar antes de 40 horas.

➤ **Procedimiento para oxígeno disuelto**

1. Llenar hasta el tope una botella de vidrio con tapón esmerilado.
2. Añadir 2 ml de sulfato de manganeso, 2 mL de alcali-yoduro-nitruro, agitar y adicionar ácido sulfúrico concentrado y agitar.
3. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
4. Analizar antes de 28 días.

➤ **Procedimiento para alcalinidad y acidez**

1. Llenar completamente una botella de vidrio de 200 mL.
2. Tapar con tapa y contratapa el frasco.
3. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
4. Analizar antes de 28 días.

➤ **Procedimiento para dureza**

1. Llenar una botella de vidrio o polietileno de 500 mL.
2. Acidificar la muestra con ácido nítrico hasta un pH<2.0.
3. Tapar con tapa y contratapa el frasco.
4. Refrigerar la muestra a 4°C hasta su análisis.
5. Analizar antes de 6 meses.

➤ **Procedimiento para la obtención de muestras para el control de calidad**

Las oficinas federales y estatales de control de calidad (QC) y aseguramiento de calidad (QA), QA/QC requieren de la colección de muestras adicionales llamadas blancos de equipo, blancos de campo, blancos de viaje, duplicados y muestras divididas. Se usaran estas muestras para verificar la calidad de descontaminación, colecta, procedimientos de

manejo y para verificar que no se hayan afectado la calidad de la muestra del agua. El número, tipo y el manejo de las muestras de QA/QC deben ser claramente especificadas en el plan de muestreo.

Según la EPA, no se tienen que coleccionar los tres tipos de blancos todos los días. Un blanco al día es suficiente con el siguiente orden de preferencia: blancos de equipo, campo y viaje. Muchas veces se usa los blancos de viaje para los análisis de VOC. Para tal fin se recomienda mandar en clave al laboratorio todas las muestras de QA/QC.

Se colecciona la Muestra de Laboratorio de QC para cada 10 muestras coleccionadas, o una por semana, cualquiera que sea más grande. Esta muestra no es una muestra adicional, sino una designación especial para una que ya existe. Coleccionar una muestra del volumen doble (un envase más que la muestra normal). Los envases deberán ser claramente identificados como muestras de laboratorio de QC.

Los blancos de equipo consisten de envases llenos con el agua final del enjuague de la descontaminación de los equipos. Una vez analizados, estos muestran la efectividad de la limpieza de los equipos de campo. Coleccionar los blancos de equipo, después del muestreo del agua subterránea o superficial en la estación, con la contaminación más alta presentada. Uno por día del muestreo será suficiente.

Los blancos de campo son envases de agua desionizada que se llenan en la estación de muestreo, etiquetan, empaquetan, sellan y se mandan al laboratorio con las otras muestras. Se usan los blancos de campo para investigar la contaminación en el laboratorio, y durante la colecciona y envío de las muestras. El laboratorio requiere un blanco de campo por cada día del muestreo.

Los blancos de viaje son envases de agua desionizada preparados por el laboratorio. Se mantienen en la misma hielera que las otras muestras en cada fase del proceso de colecciona, manejo y envío. En el laboratorio se analizan las muestras para determinar los parámetros de VOC. Si se encuentran contaminados, podría ser que la contaminación ocurriera durante el transporte de muestra o en el almacenaje en el laboratorio. Se requiere que por lo menos uno para cada envío de muestreo.

Las muestras duplicadas se usan para verificar la precisión de la colecciona de campo o el análisis de laboratorio. Se coleccionan las duplicadas a la vez que la muestra de la calidad del agua a una cantidad de una en cada diez o 10% al día, lo que sea más grande. Coleccionar una muestra duplicada de una estación en donde se crea que hay niveles altos de un compuesto en particular.

Las muestras divididas son muestras adicionales de la calidad del agua que se coleccionan y se manejan igual que las otras en el campo, excepto que se mandan a un laboratorio diferente o al mismo laboratorio enclave para los análisis, como una prueba de los procedimientos y manejo del laboratorio. Muchas veces se coleccionan este tipo de muestras durante una supervisión de certificación.

Las muestras de fondo se coleccionan para verificar los resultados de la evaluación de muestreo de sitio. Se usan las muestras de fondo para establecer las condiciones de fondo, y se obtengan hidráulicamente pendiente arriba de las fuentes de contaminación.

➤ **Empacado y envío de muestras**

Envolver y empaquetar las muestras con seguridad, para que los envases de muestra no se rompan en el camino hacia el laboratorio. Asegurarse de empaquetar los blancos en la misma

manera de las demás muestras, para que el laboratorio pueda identificar los blancos. Anotar todos los números de identificación en la bitácora de campo.

Como la EPA, las agencias o laboratorios en México, tienen procedimientos y formas específicas para el envío de las muestras y el protocolo de la cadena de custodia, asegurarse de entender todos los aspectos de estos procedimientos. Envolver y empaquetar las muestras con seguridad, para que los envases de las muestras lleguen al laboratorio sin ninguna ruptura. Asegurarse que el laboratorio haya sido notificado de la hora de entrega y la forma del envío de las muestras (camión de carga, mensajero u otro.)

GLOSARIO DE TÉRMINOS

PALABRA/SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
F	Alcalinidad a Fenolftaleína
M	Alcalinidad al Anaranjado de Metilo
STD	Sólidos disueltos totales
N ₂ H ₄	Hidracina
PO ₄	Fosfatos
DT	Dureza Total
SiO ₂	Dióxido de silicio
pH	Potencial Hidrógeno
Turb	Turbidez
Cl ⁻	Cloruros
Fe	Fierro
OH ⁻	Ión oxidrilo
D. Ca	Dureza de Calcio
SO ₄ ²⁻	Sulfatos
O ₂	Oxígeno
IE	Índice de estabilidad
ALM	Ácidoz libre mineral
Cl ₂	Cloro
IL	Índice de Langelier
FOSF	Fosfonatos
ZINC	Zinc
POLYA	Poliacrilatos
C.C.	Ciclos de concentración
CrO ₄ ²⁻	Ion cromato
QA	Aseguramiento de calidad
QC	Control de calidad
SSPA	Seguridad, Salud y Protección ambiental.
TRINCHERA	Se refiere a las zanjas hechas bajo la tierra por donde se conducen los tubos de drenajes.
BOCA DE TORMENTA	Construcción realizada para recolectar agua de lluvia, se encuentran comúnmente al lado de una banqueta.