

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

29  
129



---

---

Facultad de Ingeniería

**"TRATAMIENTOS DEL AGUA EMPLEADA EN  
LA REFINACION DEL PETROLEO EN LA  
REFINERIA MIGUEL HIDALGO DE TULA, HGO."**

**T E S I S**

**Que Para Obtener el Título de:  
I N G E N I E R O C I V I L  
P r e s e n t a:**

**SEVERIANO MANUEL J. MARTINEZ RODRIGUEZ**

**México, D. F.**

**Agosto de 1983**



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.

## I N D I C E

### INTRODUCCION

#### CAPITULO I.- GENERALIDADES

- 1.1 Antecedentes
- 1.2 Abastecimiento
  - 1.2.1 Pozos de agua
  - 1.2.2 Conducción
  - 1.2.3 Almacenamiento

#### CAPITULO II.- PRETRATAMIENTO

- 2.1 Utilidad
- 2.2 Procesos
- 2.3 Distribución

#### CAPITULO III.- DESMINERALIZACION Y POTABILIZACION.

- 3.1 Utilidad
- 3.2 Procesos

#### CAPITULO IV.- APROVECHAMIENTO

- 4.1 Tratamiento de Aguas Amargas
- 4.2 Recirculación

### CONCLUSIONES

## INTRODUCCION

La mayoría de las aguas naturales en su recorrido, disuelven componentes minerales que encuentran a su paso. Los componentes así contenidos en el agua natural como el calcio y el magnesio son los que producen la dureza del agua.

El uso de aguas duras en industrias como Petróleos Mexicanos, resulta perjudicial y antieconómico debido a la baja eficiencia en la transmisión de calor ocasionada por la sedimentación de minerales que producen aislamiento.

El presente trabajo tiene por objeto exponer los tratamientos que recibe el agua natural que se emplea en la Refinería " Miguel Hidalgo " antes y después ( recirculación ) de ser utilizada en los diversos procesos de la refinación del petróleo crudo.

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

#### 1.1.- Antecedentes

Con objeto de incrementar en forma sustancial la producción nacional de petróleo crudo refinado procedente de los yacimientos costeros del Golfo de México, para satisfacer el déficit de combustibles en el valle de México y para desarrollar industrialmente la zona creando un nuevo polo, se construye la Refinería de Tula Hgo. de Petróleos Mexicanos llamada " MIGUEL HIDALGO " la cual reúne entre otras, las siguientes características:

- a ) Proximidad al Valle de México ( 93 Km. de la Cd. de México )
- b ) Situada en el centro consumidor de combustibles
- c ) Ajena a los servicios municipales del Distrito Federal y Estado de México
- d ) Disponibilidad sin limitaciones, de agua y energía eléctrica
- e ) Capacidad inicial de refinación de 150,000 barriles diarios de petróleo crudo

El área en donde se localizan las instalaciones es de clima semidesértico, suelo de origen volcánico con toba de grano grueso hasta una profundidad de 40 metros.

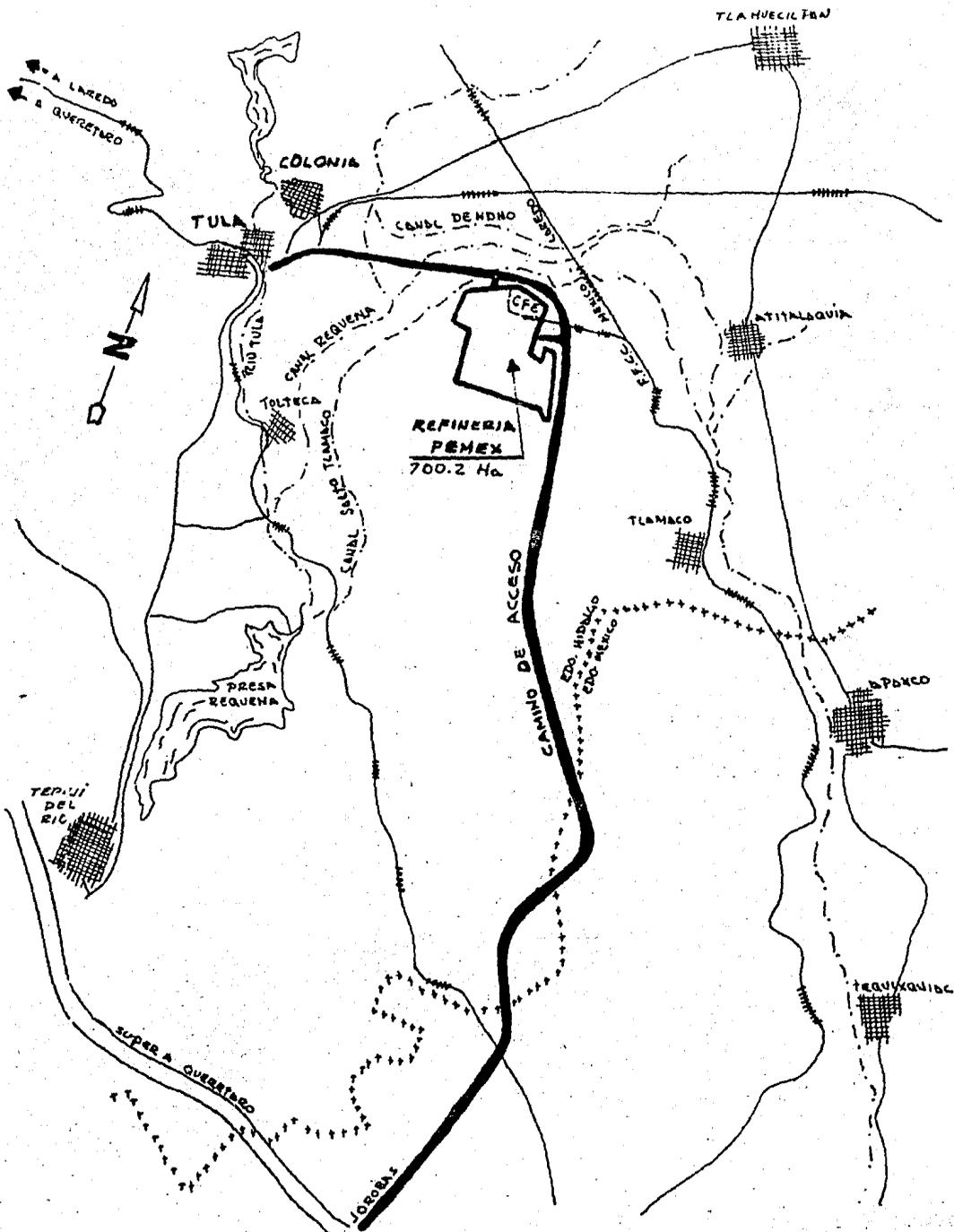
#### 1.2.- Abastecimiento

Las necesidades de agua para el enfriamiento de fluidos y equipos de las instalaciones de la Refinería son aproximadamente de seiscientos litros por segundo; también se requieren noventa litros por segundo de agua clara para alimentación a calderas y otros usos, así mismo el requerimiento de agua por reposición de efluente en el proceso de crudo es de cien litros de agua por barril de crudo procesado o sean ciento setenta y cuatro litros por segundo, por lo que en total las necesidades de agua son de ochocientos sesenta y cuatro litros por segundo.

Para poder cumplir esta necesidad fue indispensable la creación de un sistema de Abastecimiento-Almacenamiento que constara de las siguientes partes:

- a ) Pozos de agua
- b ) Línea de conducción
- c ) Tanques de almacenamiento

# REFINERIA DE TULA (LOCALIZACION)



### 1.2.1.- Pozos de agua

El agua necesaria para el funcionamiento de la Refinería de Tula, Hgo. se obtiene mediante la explotación de once pozos perforados entre trecientos y quinientos metros de profundidad; estos pozos aportan un gasto aproximado de cien litros por segundo cada uno, en promedio, dando un gasto total de mil cien litros por segundo lo que satisface en demacía las necesidades primarias de agua.

Cabe aquí señalar dos aspectos importantes en lo que a los pozos se refiere:

Aspecto Constructivo

Costo de Perforación

#### Aspecto Constructivo

Las operaciones fundamentales que se siguen para perforar un pozo son las siguientes, describiéndose las características más importantes de estas así como algunas recomendaciones.

#### Localización del área.-

Con base en los datos obtenidos en los sondeos y pruebas preliminares, se concreta el lugar exacto donde se efectuará la perforación; este lugar se manifiesta por medio de coordenadas en un plano denominado de localización en el cual se deberán indicar la elevación del sitio, los caminos de acceso y los puntos característicos de la zona.

#### Equipo de perforación.-

El equipo a usar para la perforación de pozos profundos es el de máquina rotatoria o de martillo neumático, provistos de cableadores de diámetros de perforación. Se recomienda que al hacer la selección del equipo se tomen en cuenta los siguientes aspectos: Los equipos deben de estar provistos de los accesorios de pesca necesarios para los rescates de herramienta; de aparatos que cuenten y registren el número de golpes; de bombas para lodos; de muestreadores de aguas profundas y con equipo de campo para determinar la viscosidad y salinidad del fluido de perforación.

#### Registros.-

Los registros eléctricos son en la actualidad, una parte integral de la perforación ya que ayudan a la solución de problemas como el de la identificación litológica de las formaciones atravesadas

por la berrana, el descubrimiento de minerales penetrados o localizados en la vecindad y la localización de fallas al efectuarse los trabajos de perforación.

Las formaciones sedimentarias son conductoras de electricidad en varios grados; los cambios de conductividad de uno a varios elementos son comunes de un lecho a otro. Esta propiedad es la que se utiliza en los registros eléctricos para determinar las formaciones y la naturaleza de su contenido de fluidos.

Se recomienda correr el registro eléctrico en toda la longitud de la perforación para determinarse la posición de los mantos acuíferos explotables y la profundidad definitiva de la perforación.

#### Perforación.-

Inicialmente se efectúa una perforación primaria hasta aproximadamente la profundidad total que se tendrá en el pozo, con el objeto de determinar la posición de los mantos acuíferos, obteniéndose muestras de los materiales atravezados a cada cinco metros de avance las cuales deberán ser representativas del tramo de perforación atravezado.

Se recomienda llevar un registro de mediciones de resistividad en los lodos, además de efectuar muestreos del agua durante la perforación con intervalos que no excedan de diez metros.

Con las muestras de los materiales cortados durante la perforación, la resistividad de los lodos y el resultado de los análisis de las aguas muestreadas, se forma el corte geológico definitivo y el proyecto de terminación del pozo, con lo que se procede a continuar con la ampliación de la perforación hasta el diámetro deseado.

#### Ademe.-

Esta operación consiste en la colocación de tramos completos de tubería y cedazos soldados a tope o roscados en toda la longitud del pozo. El espacio entre la perforación y la tubería de ademe se puede cementar o engravar, de acuerdo con los tramos de tubería ciegos o ranurados.

En el fondo del pozo se recomienda colocar un sello de cemento con objeto de evitar la entrada de materiales de la formación al interior de la tubería de ademe.

#### Filtros.-

Ya instalado el ademe en la perforación, se coloca el filtro de grava en el espacio anular entre la perforación y el tubo en las zonas determinadas en el proyecto del pozo.

Se recomienda verificar que el volumen de la grava introducida sea como mínimo un volumen igual al teórico calculado para el espacio anular.

#### Operaciones complementarias.-

Son las operaciones a seguir para la obtención del fluido subterráneo. Se pueden resumir en tres partes:

Limpieza y desarrollo, aforo; y equipo de servicio y operación.

Se recomienda efectuar la agitación del pozo previamente al desarrollo del mismo, con el objeto de provocar un flujo y reflujo del agua entre los poros del filtro.

#### Costo de Perforación

El objeto de este punto es el de dar a conocer los conceptos aplicables en la perforación de pozos, los precios unitarios correspondientes y los volúmenes de obra generados en campo al efectuar los trabajos de perforación de uno de los once pozos a que se hizo referencia en el inciso 1.2.1.

La información fué obtenida del catálogo general de precios unitarios GEN-002 de Petróleos Mexicanos con vigencia al primero de Agosto de 1976 actualizado al primero de Agosto de 1981.

La profundidad de perforación del pozo fué de 290 metros y la clasificación de los materiales perforados en campo es la que se menciona a continuación:

Material clase I	Tobas de grano fino ( limo arenoso )
	Tobas de grano grueso ( arena limosa )
Material clase II	Arcilla dura ( lutita arenosa )
	Marga
Material clase III	Roca densa ( basalto )

CONCEPTO	UNIDAD	P.U.	CANT.	IMPORTE
Movimiento de equipo de perforación rotatorio hasta una distancia de 15 Km.	Lote	21193.00	1	21193.00
Perforación de pozo con equipo rotatorio en material tipo I de 30.48 cm. de diam.				
de 100 a 200 m	m.	734.00	70	51380.00
de 200 a 300 m	m.	768.00	35	26880.00
Perforación de pozo con equipo rotatorio en material tipo II de 30.48 cm. de diam.				
de 0 a 100 m	m.	1318.00	35	46130.00
de 100 a 200 m	m.	1461.00	15	21915.00
de 200 a 300 m	m.	1568.00	12	18816.00
Perforación de pozo con equipo rotatorio en material tipo III de 30.48 cm. de diam.				
de 0 a 100 m	m.	2493.00	65	162045.00
de 100 a 200 m	m.	3053.00	15	45795.00
Ampliación de agujero con equipo rotatorio en material clase I de 30.48 cm. a 44.45 cm. de diámetro.				
de 100 a 200 m	m.	538.00	10	5380.00
Ampliación de agujero con equipo rotatorio en material clase II de 30.48 cm. a 44.45 cm. de diámetro				
de 0 a 100 m	m.	960.00	35	33600.00
Ampliación de agujero con equipo rotatorio en material clase III de 30.48 cm. a 44.45 cm. de diámetro				
de 0 a 100 m	m.	2158.00	65	140270.00
100 a 200 m	m.	2248.00	15	33720.00
Ampliación de agujero con equipo rotatorio en material clase I de 44.45 cm. a 55.88 cm. de diámetro				
de 100 a 200 m	m.	536.00	10	5360.00

CONCEPTO	UNIDAD	P.U.	CANT.	IMPORTE
Ampliación de agujero con equipo rotatorio en material clase III de 44.45 cm. a 55.38 cm. de diámetro				
de 0 a 100 m	m.	2016.00	65	131040.0
de 100 a 200 m	m.	2102.00	15	43530.0
Ampliación de agujero con equipo rotatorio en material clase II de 44.45 cm. a 36.30 cm. de diámetro				
de 0 a 100 m	m.	1174.00	35	41090.0
Ampliación de agujero con equipo rotatorio en material clase I de 30.48 cm. a 38.10 cm. de diámetro				
de 100 a 200 m	m.	482.00	60	28920.0
de 200 a 300 m	m.	491.00	35	17185.0
Ampliación de agujero con equipo rotatorio en material clase II de 30.48 cm. a 38.10 cm. de diámetro				
de 100 a 200 m	m.	832.00	15	12480.0
de 200 a 300 m	m.	859.00	12	10308.0
Colocación de tubería de acero para ademe soldando las juntas con doble cordón de arco eléctrico				
de 219.1 mm de diámetro por 6.4 mm de espesor	m.	45.00	137	6165.0
de 406.4 mm de diámetro por 6.4 mm de espesor	m.	69.00	120	8280.0
de 660.6 mm de diámetro por 6.4 mm de espesor	m.	93.00	36	3348.0
Aplicación de dispersor de arcilla SC-100 en proporción de 27 litros por cada 30 m. de profundidad y agitado del pozó por un tiempo de 8 horas a diferentes profundidades				
	m.	71.00	247	17537.0

CONCEPTO	UNIDAD	P.U.	CANT.	IMPORTE
Cementación de tubería de diversos diámetros para inyección de cemento en el espacio anular; incluye el tiempo de operación, equipo y cemento.				
Tubo de 61.96 cm. en perforación de 76.20 cm de diámetro	m.	381.00	46	17526.0
Suministro de tubería de acero para ademe de cualquier tipo de diámetro y espesor				
80.00 m de tubería ranurada	F.	211711.00	1	211711.0
100.5 m de tubería ranurada				
Suministro de grava redonda, lavada y cribada para filtrado de pozos				
De 60.96 cm a 40.64 cm	m.	90.00	110	9900.0
De 47.64 cm a 25.40 cm	m.	43.00	137	5891.0
Registro eléctrico obtenido con sondeos en diferentes diámetros y profundidades	F.	31200.00	1	31200.0
Lodo de perforación preparado con agua dulce y bentonita sin aditivos especiales	m <sup>3</sup>	203.00	105	21315.0
Abastecimiento de agua para la perforación de pozos por medio de bombeo a través de tubería de conducción utilizando bomba de motor				
Bomba trabajando	h.	110.00	872	95920.0
Bomba parada	h.	58.00	343	19894.0
Excavación y relleno de fosa para lodos	lote	8376.00	1	8376.0
Instalación y desmantelamiento de equipo de bombeo dentro del pozo de prueba	lote	31632.00	1	31632.0
Equipo de bombeo trabajando	h.	543.00	120	65160.0
			SUMA	5 1'438 92.0

### 1.2.2.- Línea de Conducción

A ocho kilómetros de la población de Tula, sobre la carretera que va de esta Ciudad a Pachuca, se encuentran los once pozos de agua que surten a la Refinería. Cada pozo está dotado de una bomba con motor eléctrico de 450 H P con capacidad de 100 litros por segundo.

El agua de los pozos llega a los tanques de almacenamiento a través de un acueducto de acero carbón de 61 centímetros de diámetro, que va subterráneo paralelo a la vía del F.F.C.C. México-Laredo, entrando a la Refinería a la altura de la zona denominada trampa de diablos donde aflora y corre a lo largo de soportes de concreto hasta llegar al área de almacenamiento.

A continuación se da una secuencia del desarrollo de las actividades más importantes que se realizan en la construcción de una línea de conducción, incluyendo algunas recomendaciones.

#### a ) Apertura y conformación de brechas para el derecho de vía y caminos de acceso.

Es de importancia esta actividad ya que consiste en efectuar los trabajos de terracerías indispensables para el buen desarrollo de las actividades precedentes. Se debe garantizar un tránsito normal de vehículos con equipo pesado.

Para permitir operar con eficiencia este equipo de construcción se recomienda, en todos los casos, proyectar la construcción de cunetas laterales en uno o ambos lados del camino con objeto de facilitar el escurrimiento del agua de lluvia y evitar encharcamientos perjudiciales al tránsito.

#### b ) Excavación

Uno de los factores importantes que se deben contemplar, es el de la correcta selección del equipo de excavación; para esto se recomienda recorrer los lugares característicos por donde pasará la línea de conducción con objeto de efectuar sondeos, pruebas y estudios que se estimen convenientes para conocer la naturaleza del terreno.

La excavación propiamente dicha no representa problemas en sí, como no sea excavar en presencia de agua, para lo cual se deberá contar con un equipo de bombeo que contribuye a mantener en seco la zanja.

c ) Soldadura y trabajos relacionados con ésta.

Como aspectos importantes se deben consignar que la tubería, válvulas, accesorios y materiales necesarios para la construcción de la línea se manejen con cuidado de tal forma que se evite sean golpeados o dañados; así mismo, contar con mano de obra altamente calificada.

Se recomienda que los trabajos de soldadura se efectúen por el procedimiento manual de arco metálico protegido ( arco eléctrico con electrodo metálico consumible ) y la unión de los tramos de tubería hacerla a tope. El equipo que se emplea es el de máquina tipo corriente directa con una capacidad mínima de 300 a 350 amperes, eléctrica o de combustión interna.

Los pasos que se siguen en una soldadura son: Primer cordón o fondeo, segundo cordón o relleno, tercer cordón o acabado.

Para verificar las soldaduras se usa el sistema de inspección radiográfica y la evidencia obtenida por este método se emplea para reponer las uniones defectuosas.

El equipo de radiografías consta de una unidad móvil de inspección con rayos x o gamma, una bomba radioactiva con isotopos de Cobalto 60 e Iridio 192, equipo para medición, control y protección de radiación.

La inspección radiográfica se basa en la propiedad que tiene la energía radiante de longitud de onda muy corta para penetrar materiales opacos. Al incidir los rayos sobre un material bajo inspección, una parte de ellos son absorbidos dentro del mismo material y el resto lo atraviesa pudiendosa registrar la energía que lo atravezó en una película sensible a este tipo de energía.

d ) Recubrimiento Anticorrosivo y Prueba Eléctrica.

Consiste en la aplicación sobre la tubería limpia y seca, de una mano de pintura base o de imprimación, una capa de esmalte aplicado a una temperatura de entre 200 y 240 grados centígrados y simultáneamente a la aplicación del esmalte, la tubería se forra en forma espiral con tela de fibra de vidrio.

Se debe verificar con un detector eléctrico de fallas, la continuidad del esmaltado el cual produce un arco que salta un espacio cuando menos igual al espesor del revestimiento.

Se recomienda mover a lo largo de toda la tubería el detector de fallas, para localizar cualquier defecto en la protección.

e ) Protección Catódica.

El sistema para protección catódica es aquél que tiene por objeto impedir electroquímicamente, que la instalación protegida se dañe por efectos de corrosión.

Consiste en la colocación de un ánodo de sacrificio ( elemento emisor de corriente eléctrica ) soldado en diversas zonas de la tubería de conducción, conectado a través de un conductor a cajas situadas en la superficie con elementos de medición y de registro.

El sistema se basa en la comparación de la medición de potenciales entre el elemento protegido y el terreno en que este se encuentra alojado.

f ) Prueba Hidrostática.

Ya que la línea de conducción trabaja a presión es de mucha importancia realizar esta prueba que tiene por objeto vigilar el perfecto funcionamiento de la línea antes de entrar a operación.

Se recomienda que como inicio de la prueba se corran escudos o tacos de limpieza ( diablos ) para purgar el aire de la línea y limpiarla de toda incrustación, polvo o rebaba de construcción. Ya purgada la tubería se empieza a introducir agua la cual se debe dejar correr libremente a la salida durante algunos minutos para posteriormente tapar e iniciar la prueba final de la línea a la presión de proyecto y después a la presión de operación. La duración de la prueba fluctuará entre seis y doce horas. El registro de la presión de prueba no debe presentar fluctuaciones salvo aquéllas que puedan ser atribuidas a cambios de temperatura; en caso contrario se debe detectar las zonas probables de falla para proceder a efectuar las reparaciones correspondientes.

### 1.2.3.- Tanques de Almacenamiento

para el proyecto del almacenamiento de agua cruda procedente de los pozos, se tomó en cuenta el gasto necesario para el funcionamiento de la Refinería. Este gasto se aproxima a los 48,000 metros cúbicos por día. Se consideró también la posibilidad extrema de que en 24 horas no funcionaran los pozos de agua.

Estas condiciones determinaron la necesidad de erigir dos tanques de almacenamiento con capacidad de 50,000 metros cúbicos cada uno, los cuales fueron construidos por su economía de concreto postensado, sin tapa, de 14.0 metros de altura y 69.60 metros de diámetro interior, con paredes de 0.40 metros de espesor.

La alimentación a los tanques de almacenamiento es directa del acueducto a través de una tubería de 0.61 metros de diámetro en cada tanque, las cuales descargan por la parte superior de los mismos.

Las instalaciones complementarias que integran el área de almacenamiento son: Una escalera metálica, situada en un espacio exterior de 10 metros comprendido entre los dos tanques, que da acceso a la parte superior de los mismos. La estructura de esta escalera sirve como soporte a las dos líneas de alimentación.

Cada tanque cuenta con un orificio de salida de 0.76 metros de diámetro localizado en el fondo y al centro del mismo; esta tubería reduce su diámetro fuera del perímetro del tanque, precisamente donde se encuentran las válvulas que regulan la salida del agua.

Para la limpieza de los lodos sedimentados en el fondo de los tanques se proyectaron cuatro salidas laterales por tanque de 0.20 metros de diámetro, regulando el flujo de salida a través de válvulas de control que vierten a un drenaje perimetral exterior.

Cabe abundar a manera de comentarios y recomendaciones, las consideraciones que se tomaron en cuenta para el diseño de los tanques, así como el procedimiento de construcción seguido en la erección del tanque.

El rápido desarrollo de los tanques de concreto reforzado, tanto en lo que se refiere a su dimensión como a su número, ha sido el principal factor del actual conocimiento sobre problemas especiales de diseño. Se requieren amplios trabajos de investigación para mejorar los actuales criterios de diseño; sin embargo, la información aquí presentada ofrece la posibilidad de obtener estructuras mejores,

más duraderas y básicamente libres de mantenimiento.

Grado de presfuerzo.-

Las opiniones varían considerablemente en lo que se refiere al grado de presfuerzo que debe aplicarse, especialmente para las estructuras de contención de líquidos.

En los tanques de contención de concreto reforzado, los esfuerzos de flexión y de tensión son tomados con refuerzo de acero suave; Esta condición no elimina las tensiones en los esfuerzos de flexión y de tensión axial aplicados en el concreto. Al limitar el esfuerzo del acero, se limita también en deformación y por correspondencia, las dimensiones de las grietas del concreto. La deformación del acero es función no solo de la elongación elástica, sino también del flujo plástico.

El objeto del presfuerzo en los tanques de contención es el de eliminar básicamente todas las tensiones debidas a las cargas de flexión o axiales aplicadas al concreto, para evitar el futuro desarrollo de grietas.

La economía, el tipo de almacenamiento y la vida útil prevista, desempeñan una función importante en la determinación final del grado de presfuerzo que debe aplicarse.

Métodos básicos de diseño.-

a ) Control de grietas

Esta teoría se basa en gran parte, en la idea de eliminar todas las tensiones directas mediante el presfuerzo y reforzar el concreto con acero de refuerzo suave para tomar los esfuerzos de flexión. Se supone entonces que el desarrollo de las grietas en el concreto no será perjudicial, siempre y cuando pueda controlarse la dimensión de la misma.

b ) Prevención de grietas

Muchos diseños se elaboran con este concepto en mente; a veces en la práctica, no resulta en esta forma debido a las suposiciones de diseño inadecuadas, a esfuerzos excesivos en el acero, al hecho de despreciar el factor de la fatiga sobre el concreto y el factor del flujo plástico del acero.

En condiciones de servicio prolongadas, la verdadera condición sin agrietamiento puede lograrse presforzando totalmente al concreto para eliminar todas las condiciones de esfuerzos de flexión y de tensión.

### Vida útil.-

En conjunto, los tanques de contención de concreto, tanto reforzado como presforzado han dado buenos resultados. La demanda de tanques y cúpulas de concreto semipresforzados o totalmente presforzados ha aumentado abruptamente en los últimos años. Con base en lo que se sabe hasta la fecha, es posible construir tanques de almacenamiento de concreto con un funcionamiento básicamente libre de problemas durante un período de 50 años como mínimo.

### Corrosión.-

Siempre y cuando se satisfagan todos los requisitos expuestos en las secciones de diseño y especificación, no debe haber motivo para esperar corrosión en condiciones de operación normales.

En todo momento debe tenerse un cuidado particular para evitar que los sulfatos y los cloruros lleguen al acero del refuerzo, ya sea que procedan de fuentes internas o externas.

En nuevas estructuras se pueden tomar disposiciones para dar protección catódica con el objeto de resolver condiciones imprevistas futuras. Sin embargo, la protección catódica no debe ser necesaria, siempre y cuando se de un cuidado especial a las técnicas apropiadas de diseño y construcción.

### Deformaciones.-

El efecto de las deformaciones sobre los esfuerzos de flexión han sido frecuentemente subestimadas en las estructuras mayores. En especial, las conexiones empotradas y articuladas entre pared y zapata desarrollan en la pared, condiciones de flexión severas bajo las cargas internas y externas, las diferencias de temperatura, las diferencias de sequedad y las condiciones de contracción por sacado. El método más seguro, desarrollado para reducir sustancialmente estos esfuerzos, consiste en el desarrollo de la placa de hule, que se utiliza para separar la pared de la zapata y la estructura del techo. Pueden usarse otros materiales como placas de asbesto grafitado, mas-tique o varias capas de papel grueso. Sin embargo, frecuentemente queda el problema del coeficiente de fricción que debe preverse; además, deben esperarse esfuerzos inversos de flexión y de tensión de magnitud considerable. En las placas de hule no existen esfuerzos inversos de flexión ni de tensión.

## Procedimiento Constructivo

Previo a cualquier actividad constructiva, se debe contar con información del subsuelo, para lo cual se efectúa la excavación de un pozo a cielo abierto, con objeto de observar las características del suelo.

De acuerdo con la información obtenida de los materiales muestreados en la exploración, se estima a partir de ensayos a la compresión simple y de compresión triaxial, la resistencia que presenta el suelo, de tal forma que se defina la profundidad de desplante de la cimentación del tanque.

Efectuado el trazo y marcados los niveles correspondientes se procede a efectuar la excavación de la zona que ocupará el tanque. A la terminación de la excavación el área bajo el fondo y las zapatas, se escarificará hasta una profundidad mínima de 15 centímetros dándosele el contenido de humedad apropiado y compactándose mediante métodos apropiados al 95 % de densidad en conformidad con los requisitos del método estándar.

La erección del tanque se inicia al efectuarse los colados de la zapata perimetral, utilizando para este objeto cimbra de madera o metálica dejando anclado el acero de refuerzo contra sismo. Se colocan juntas de P.V.C. para el sellado entre la zapata y la losa de piso así como con el muro perimetral del tanque.

Se debe tratar de efectuar el colado de la zapata en forma continua en toda su longitud, para lo cual se coloca cimbra en un 50 % de la circunferencia, cambiándose ésta conforme al avance del colado y al fraguado del concreto. En el caso que esta maniobra no sea factible se tendrán que dejar juntas frías.

Para el armado, cimbrado y colado del muro perimetral o envolvente se deben tener en cuenta los siguientes factores :  
El sello de P.V.C. entre cimentación y muro debe estar en su posición, limpio de cualquier material que pueda afectar su impermeabilidad. Colocar la junta horizontal de hule en la zona por colar procediendo posteriormente a colocar las cabezas del presfuerzo vertical, así como el refuerzo de varillas al rededor de éste; así mismo se coloca el alambre de presfuerzo previamente anclado a la cabeza fija y dentro del ducto que la aloja en la zapata.

La cimbra del muro envolvente debe permitir un colado continuo hasta completar la altura total del muro sin juntas frías horizontales; ade-

más se deben colocar en los lugares correspondientes las grapas para el anclaje del alambre del embobinado.

El colado del muro se efectúa en ocho partes de circunferencia ( octantes ). La longitud del octante es de 27.50 metros con una altura de 13.00 metros. Cada octante se cuela continuamente con el objeto de evitar juntas frías horizontales, dejando en la parte superior los huecos para colocación y maniobras de los anclajes móviles del presfuerzo vertical los cuales se colarán posteriormente al tensado final de los alambres.

Para efectuar el colado continuo de los octantes se recomienda construir una cimbra metálica a base de tableros, que conste de una obra falsa a base de columnas y largueros armados hasta la altura total del muro. El sistema usado con esta cimbra es similar al de una cimbra deslizante con la ventaja de que el movimiento de los tableros es más rápido que el deslizamiento total del molde deslizante.

La mezcla de los agregados que forman el concreto se debe efectuar en una planta de mezclado que garantice una producción de 10 a 12 metros cúbicos por hora. Para esta producción se debe contar con un vibrador por cada 4.0 metros cúbicos de concreto colado.

Todo el concreto se debe mantener continuamente humedecido durante un período no menor de siete días después del colado, con un rocío continuo de agua.

Cuando el concreto haya alcanzado una resistencia de 140 kilos por centímetro cuadrado se procede al postensado horizontal en muros ( embobinado ). Después de cumplir con las especificaciones de resistencia y limpieza de los muros se procede a presforzar el muro con la máquina diseñada para este trabajo que consta de un carro auto-impulsado que viaja en la parte superior del tanque.

Una vez colocada en su posición de inicio la máquina presforzadora, el extremo libre del alambre se ancla a un perno, así como en zonas intermedias para prever una posible ruptura del alambre y no se desenvuelva totalmente.

El diámetro del cable que se tensa es de 5 milímetros y con una resistencia a la fluencia de 7200 kilos por centímetro cuadrado.

El postensado es variable según la altura del muro, siendo en la parte inferior mayor el número de giros del cable ( cinco ). El tensado sobre las capas de recubrimiento del alambre de presfuerzo se puede empezar a las 12 horas de que ha sido aplicado el concreto lanzado.

### Concreto lanzado ( Gunita ) .

El Gunita consiste en una mezcla de mortero de cemento y arena transportada con aire comprimido a través de una manguera y un chiflón, lanzada a alta velocidad sobre el alambre de priesfuerzo previamente tensado y colocado en el tanque.

La fuerza del chorro en su impacto contra la superficie compacta el material. Se recomienda usar una mezcla relativamente seca para que el material se soporte así mismo sin escurrirse ni colgarse, incluso se puede aplicar en superficies verticales y sobre cabeza.

Toda superficie de Gunita se debe mantener húmada durante 10 días de calendario posteriores a su colocación aplicandose un mínimo de tres riegos diarios durante los siguientes cuatro días de calendario.

### Prueba hidrostática y de impermeabilidad.

Las grietas que se hayan desarrollado en el fondo y la zapata del tanque, debidas a la contracción por secamiento, se recomienda no abrirlas antes de la prueba.

Antes de iniciar el llenado del tanque, se cubre el fondo con agua a un tirante mínimo de un centímetro sobre el punto más alto de este. Se extiende cemento normal sobre toda el área del fondo, con objeto de formar una lechada que selle las grietas que puedan existir.

Después de la operación de sellado de fondo se procede a llenar el tanque. El abatimiento aceptable del nivel de agua no debe exceder de cinco milímetros en veinticuatro horas durante la segunda semana a partir del llenado del tanque; además no debe haber filtraciones, corrientes visibles ni acumulaciones de agua en los alrededores del tanque.

Una vez verificado y aceptado el comportamiento del tanque, se debe vaciar, limpiar y resanarse. Una vez seco se aplica la protección interior que servirá para proteger el concreto contra la agresión de las aguas crudas.

C A P I T U L O    I I

P R E T R A T A M I E N T O

2.1.- Utilidad

La mala calidad del agua hizo necesario, para evitar un consumo excesivo de reactivos en la planta de desmineralización, emplear un pretratamiento a base de cal en frío con adición de un coagulante ( sulfato de aluminio ).

La principal ventaja del proceso de cal en frío es que reduce la dureza, el contenido de sólidos totales y la alcalinidad debida a los bicarbonatos, además de aumentar el valor del pH.

El objeto de adicionarle el coagulante al reactor es que los lodos formados se precipitan más rápidamente y las partículas que quedan en suspensión se aglomeran formando grumos que pueden ser retenidos por los filtros.

Se dá a continuación una tabla comparativa con valores de análisis de agua cruda y de esta misma ya pretratada.

CATIONES	AGUA CRUDA ( mg/l )	AGUA PRETRATADA ppm como CaCo3
Na <sup>+</sup>	485	485
Ca <sup>++</sup>	280	35
Mg <sup>++</sup>	103	30
ANIONES		
Cl <sup>-</sup>	244	244
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	388	61
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	22	22
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	214	223
Dureza Total	383	65
SiO <sub>2</sub>	41	31
Alcalinidad M.	388	61
pH	7.7 ( unidades )	10
S.T.D.	1004	660
CO <sub>2</sub>	22	0

En seguida se da la composición hipotética del agua cruda y agua pretratada manifestada en la siguiente tabla.

Compuestos presentes en el agua	AGUA CRUDA		AGUA PRETRATADA	
	ppm	%	ppm	%
(1) Ca (HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	418	32	21	3
(2) Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	304	23	316	41
(3) NaCl	285	22	285	37
(4) Mg (HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	150	12	44	6
(5) SiO <sub>2</sub>	68	6	52	6
(6) NaHCO <sub>3</sub>	45	3	30	4
(7) CaCO <sub>3</sub>	22	2	22	3
Total	1292	100	770	100

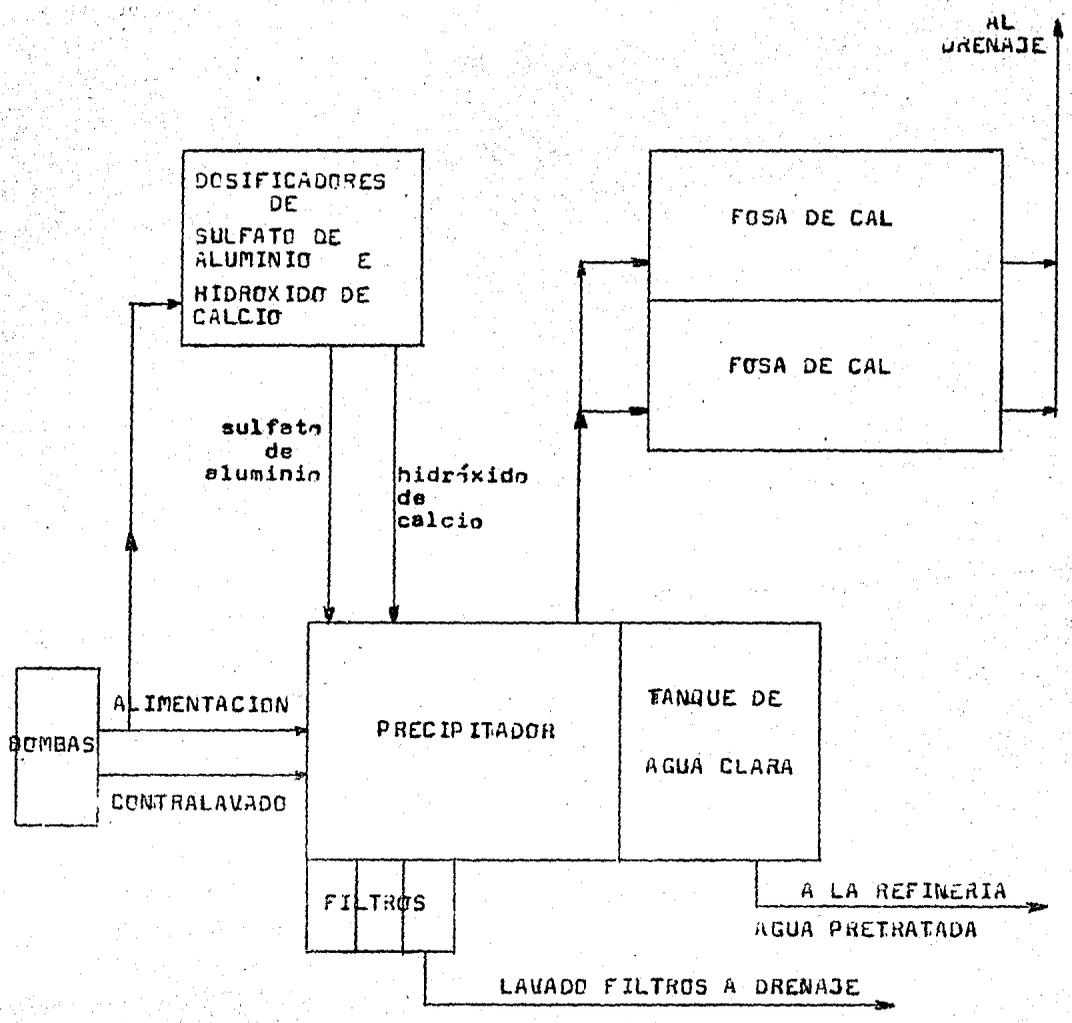
**NOTAS :**

- a) Debido a que la dureza total es menor que la alcalinidad total, la dureza presente es dureza temporal.
- b) Los compuestos (1) y (4) son los que provocan la dureza temporal en el agua y como puede notarse, es la que se elimina en su mayor parte en el pretratamiento.

Concluimos de la tabla anterior que con el pretratamiento del agua se consigue:

- a).- Reducir en un 34 % los S.T.D. al precipitar el 87 % del calcio y el 71 % del magnesio presente.
- b).- Reducir la alcalinidad total en un 87 % como consecuencia del punto anterior.
- c).- Reducir la sílice en un 25 % debido a la acción del magnesio presente.
- d).- Eliminar el CO<sub>2</sub> libre.

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE PRETRATAMIENTO DE AGUA CRUDA



## 2.2.- Procesos

Con objeto de dar idea del tratamiento a que se somete el agua cruda en la planta de pretratamiento, el presente capítulo lo ha dividido en dos partes.

La primer parte habla del funcionamiento y de las instalaciones de que esta constituida la planta.

En la segunda parte se explican los diversos procesos que se utilizan para reducir la dureza del agua cruda.

### Primera parte.-

La planta de pretratamiento de agua consta de las siguientes partes las cuales se describen en forma detallada a continuación.

#### Equipo de bombeo

El bombeo de agua se resolvió con cuatro bombas de turbina horizontales con capacidad de 69 litros por segundo con una presión de descarga de 4.1 Kilos por centímetro cuadrado.

Las bombas alimentan al precipitador a través de una tubería de 0.30 metros de diámetro, de la cual sale una derivación de 0.07 metros de diámetro ( 3 " ) que es la línea de suministro de agua a los dosificadores para disolución de reactivos.

#### Reactivos

Los reactivos químicos y su dosificación, usados en el proceso del pretratamiento de agua son:

- Cal ----- 227 Kg/hr.
- Sulfato de Aluminio ----- 18 Kg/hr.

La unidad dosificadora de cal es de tipo volumétrica, de operación continua y con capacidad de 227 Kilos por hora. Cuenta además con un tanque de preparación de mezcla con una capacidad de 370 litros.

La unidad dosificadora de Aluminio es de tipo volumetrico de tornillo de operación continua y con capacidad de 18 Kilos por hora. Cuenta también con un tanque de preparación de mezcla, de fibra de vidrio de 130 litros de capacidad.

Para el almacenamiento de reactivos químicos la planta posee una bodega con capacidad para 2,300 sacos de cal.

Se cuenta con un cuarto de tableros donde se localizan los controles eléctricos del sistema y un laboratorio donde se analiza la calidad del agua pretratada.

Reactor suavizador floculador (precipitador).

Es la unidad de tratamiento donde ocurre la precipitación de los compuestos químicos del agua por medio de los reactivos antes citados. La capacidad del precipitador permite tener 500 metros cúbicos por hora de agua tratada disponible para ser enviada al tanque de aguas claras de la planta, de donde será enviada a las instalaciones de la Refinería. El tiempo de retención del líquido es de 2 horas 19 minutos. Entre los elementos importantes que se pueden citar se encuentran: El agitador de la mezcla con sus paletas, accionado por un motovariador de 5 HP. Dos válvulas de 0.15 metros de diámetro con cierre hermético y operación neumática por control de tiempo, cuya función es la de regular la extracción de lodos mediante un programador. La medición del volumen tratado, se indica en un registro de flujo con carátula circular tipo placa de orificio con celda transmisora de presión diferencial.

Unidades filtrantes

Los filtros son tres estructuras de concreto armado, de gravedad con un gasto de servicio de 46 litros por segundo por cada unidad; un gasto de lavado de 198 litros por segundo y una capacidad de filtración de 2.30 litros por segundo por centímetro cuadrado. La duración del retrolavado es de 4 minutos, contando con 628 coladores de plástico por filtro en el bajo-dren.

Tanque de almacenamiento de aguas claras

El tanque forma una unidad con el precipitador y los filtros para mayor aprovechamiento del espacio y mejor funcionalidad del sistema. Es una estructura de concreto armado con tapa y de una capacidad útil de 1,000 metros cúbicos de agua pretratada que llega de los filtros por gravedad. De este tanque sale una tubería de 0.51 metros de diámetro que conduce el agua a las plantas de la Refinería para su uso. Dado que el gasto de agua pretratada para la Refinería es de 126 litros por segundo, se calcula que se vaciará el tanque en un tiempo aproximado de 2 horas 20 minutos.

Fosas de cal y lodo

Las fosas están abiertas en el terreno natural, recubiertas de concreto, a donde irá el agua de contralavado del precipitador; lugar en el que se recuperará, por medios mecánicos, la cal usada en el pretratamiento del agua. El tiempo de retención por fosa es de 18 días y el gasto de contralavado que llega es de 70 litros por segundo.

Segunda parte.-

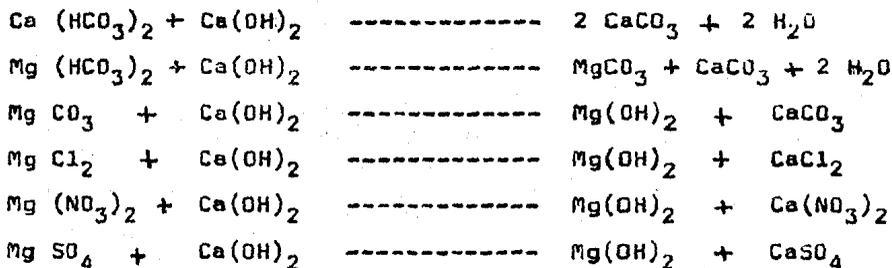
Ablandamiento

Los componentes minerales como el calcio y el magnesio son los que producen la dureza del agua y esta es proporcional a la concentración de dichos metales, pudiéndose presentar en una o más formas. Si se presenta como carbonatos se puede decir que presenta dureza de carbonatos y si se encuentran como sulfatos, cloruros o nitratos se llama dureza de no carbonatos.

A causa de la dureza existe baja eficiencia en la transmisión del calor en calentadores y calderas; por tal razón las aguas duras no son convenientes para su uso en calentadores, calderas, lavanderías, industria textil y otras, donde se haga necesario tener agua de dureza nula.

Para reducir la dureza del agua se hace uso de ingredientes químicos, que al reaccionar con el agua dura forman complejos básicos solubles de carbonatos de magnesio provocando alcalinidad en el agua ablandada.

Cuando se agrega cal al agua que contiene dureza ya sea de calcio o magnesio, se verifican las siguientes reacciones:



Para poder determinar la cantidad necesaria de cal para el ablandamiento, se necesitan conocer algunas características del agua como : CO<sub>2</sub> libre, compuestos incompletos del CO<sub>2</sub>, dureza de no carbonatos y el magnesio total.

Para calcular la cantidad de cal que se tiene que agregar al agua por ablandar, se usa la siguiente fórmula.

$$(CO_2 \text{ libre} + \text{compuestos incompletos de } CO_2)0.00127 + 0.00227 \text{ Mg total} = \text{Kg de CaO/1000 litros de agua.}$$

Tanto el CO<sub>2</sub> como los compuestos incompletos del CO<sub>2</sub> y el magnesio y la dureza de no carbonatos están expresados en p.p.m.

Los compuestos incompletos del CO<sub>2</sub> pueden tomarse como el 44 % de la alcalinidad.

La fórmula anterior se elaboró tomando en cuenta un 100 % de CaO, pero hay que recordar que en los compuestos comerciales no se encuentra un contenido así; puesto que los de más alto porcentaje en cal viva son de 88 a 90 % y en cal hidratada de 68 a 70 % .

Si no se conoce el análisis exacto de contenido de cal, el porcentaje para hacer los cálculos será de 88 para cal viva y de 68 para cal hidratada.

Cuando se empezó a ablandar agua se le agregaba soluciones saturadas de cal, pero se vio que era mejor una solución de cal en lugar de la lechada porque se obtenía mayor uniformidad en la aplicación, puesto que el agua unida a la lechada de cal podía no estar mezclada completamente y por consiguiente se tenía menor eficiencia en el proceso. Cuando se introducen los ablandadores se debe tener una agitación completa con el objeto de evitar la estratificación del compuesto; así mismo la alimentación se debe hacer en forma uniforme y continua.

De entre los procesos a los que se puede someter el agua para ablandarla se pueden mencionar los siguientes:

Sosa cáustica ( Hidróxido de sodio )

Este proceso se usa para remover la dureza de carbonatos y la de no carbonatos. Al agruparse sosa cáustica con sales de calcio y magnesio, se hace un hidróxido de magnesio insoluble que se precipita y absorbe  $CO_2$ .

El inconveniente de este tratamiento es el costo ya que resulta más cara la sosa cáustica que la cal.

**Tratamiento en exceso**

Consiste en agregar cal en exceso. Bastan de 34.2 a 51.4 p.p.m para que se precipite casi completamente el magnesio; después se neutraliza el exceso de cal con carbonato de sodio, el cual se agregará en una cantidad igual a la necesaria para combinarse con la dureza de no carbonatos y la cal en exceso.

**Compuestos de aluminio**

Cuando los compuestos de aluminio se agregan al agua se produce una coagulación y sedimentación con lo que se facilita su remoción. Los compuestos de aluminio al reaccionar se convierten de sales solubles a insolubles y con ello se hace posible su remoción ya sea por sedimentación o por sedimentación y filtración.

**Intercambidores iónicos**

Se usan en lugar del carbonato de sodio, para remover dureza

de no carbonatos. En este proceso se usa también cal, con el objeto de reducir lo más posible la dureza de carbonatos. Para agregar la cal. se usan los tanques de mezcla y después se hace la sedimentación y remoción de los carbonatos que se han precipitado.

### Filtración

La sedimentación y adsorción que se presenta al pasar el agua a través de un medio poroso se debe a que los huecos actúan como pequeños sedimentadores en los cuales se sedimentan los coloides y partículas pequeñas de materia suspendida. Las partículas se adhieren a los granos de arena debido a la atracción que hay entre los dos materiales y también debido a la capa gelatinosa que se ha formado previamente sobre los granos de arena debido a las bacterias y la materia coloidal que se ha depositado en ellos.

Al depositarse materia coloidal suspendida y microorganismos en los huecos y sobre los granos de arena se van desarrollando crecimientos biológicos y entonces se produce el fenómeno de metabolismo biológico, que unido a cambios electrolíticos hacen que haya cambios químicos en el agua de los filtros y lógicamente se puede decir que las combinaciones químicas de la materia depositada en los filtros se altera con el crecimiento biológico. Entonces se puede decir que mientras haya organismos vivientes en la arena de los filtros habrá alteración de la materia depositada en los lechos de arena de los mismos.

Entonces, la acción filtrante está localizada principalmente en la superficie de la arena en la capa de materia que se deposita en ella; también hay otras acciones en la capa gelatinosa que se forma en los huecos en el interior del lecho filtrante puesto que en dicha capa gelatinosa la actividad biológica esta desarrollada en alto grado.

En algunos casos hay necesidad de esperar que un filtro funcione un determinado tiempo para tener una remoción eficiente en cuanto a bacterias, aunque generalmente se puede llegar a tener efluentes satisfactorios casi inmediatamente, puesto que las características del agua cruda, la velocidad de filtración y otros factores son los que determinan esto último. La penetración del filtro está en función de la velocidad de filtración, de la pérdida de carga a través del filtro, de la densidad de la materia suspendida en el agua, de la porosidad del material filtrante, de la temperatura y de la calidad de los flóculos por lo que se ha encontrado que en condiciones satisfactorias de operación, los flóculos pueden penetrar de 5 a 15 centímetros y después de éste la pérdida de carga aumenta rápidamente y se hace necesario la limpieza del filtro.

El lavado de los filtros se hace periódicamente de acuerdo con la turbiedad que le queda al agua ya sedimentada, que pasa a los filtros y va obteniendo los poros del medio, haciendo que aumente la pérdida de carga hasta un valor en que es incosteable, para operar el filtro en buenas condiciones.

El material que sirve como capa filtrante en los filtros puede ser arena, porcelana porosa, tierras diatomáceas, carbón granulado, arena de antracita, etc.

Los tipos de filtros pueden ser rápidos, lentos y de presión.

Los filtros rápidos se distinguen de los lentos por la velocidad de filtración y la granulometría. El uso de los filtros a presión se ha restringido a usos industriales, principalmente.

#### Lodos

En los procesos de ablandamiento con cal y carbonato de sodio se producen lodos, los cuales en casi todos los casos es incosteable e impracticable su recuperación. Se puede proceder a secarlos en alguna forma, también se puede proceder a un mezclado y sedimentación.

Los lodos que se precipitan en la reducción de la dureza son de hidróxido de magnesio principalmente, el cual se puede separar del carbonato de calcio para que no aumente la cantidad de material inerte.

En aquéllas aguas en las cuales el contenido de magnesio sea muy bajo es posible separar la cal de los lodos, pero si se tienen aguas superficiales turbias es difícil separar la cal, solo en aquéllos casos en que se haga otra coagulación y sedimentación.

Ultimamente se han hecho pruebas de recirculación de los lodos producidos en el ablandamiento con cal. Esta recirculación se hace con parte de los lodos sedimentados, los que se vuelven a mezclar con el agua que se esta ablandando. Con este procedimiento se ha visto que hay mejoramiento en las reacciones químicas que tienen lugar en el proceso.

Probablemente se obtienen beneficios por la acción masiva y por la presencia de cal sin reaccionar en los lodos.

De acuerdo con el agua que se va ablandar, así será la concentración de lodos por recircular. En algunas plantas que operan con éxito, se ha encontrado que en una muestra de 100 Ml. del efluente de los tanques de mezcla, se deja sedimentar en una probeta graduada y al cabo de 30 minutos se mide el lodo en el fondo, el cual deberá tener un volumen de 5 Ml como mínimo para que exista efectividad en el proceso.

Los lodos debido al ablandamiento pueden aplicarse a terrenos para acondicionarlos, siempre y cuando dichos terrenos sean ácidos.

### 7.3.- Distribución

El sistema de pretratamiento de agua cruda se encuentra sobre una área de aproximadamente cuatro hectáreas en la parte sur-este de la Refinería, que es la parte más alta de la misma, existiendo un desnivel de 50 metros entre los tanques de almacenamiento y las plantas diversas de la Refinería por lo cual la alimentación de agua cruda y pretratada a las plantas es por gravedad evitando de esta manera un costoso bombeo.

La localización de los tanques de almacenamiento de agua cruda obligó a las instalaciones del pretratamiento estar cerca de ellos para formar un solo conjunto.

Para el funcionamiento de la Refinería se tiene la necesidad de surtirle de agua en la cantidad de 2271 metros cúbicos por hora o sean 54,504 metros cúbicos por día, de los cuales 43,545 son de agua cruda y 10,959 de agua pretratada.

El inicio de la distribución del líquido comienza en los tanques de almacenamiento de donde sale a través de una línea de 1.07 metros de diámetro que se une a un cabezal de 0.91 metros de diámetro que por gravedad la distribuye a las diferentes áreas donde no se requiere tratamiento previo; estas áreas son:

a) Agua para torres de enfriamiento

La mayor parte de agua cruda es utilizada como repuesto en tres torres de enfriamiento.

La recirculación de agua cruda en las torres de enfriamiento es aproximadamente de 41,400 metros cúbicos por hora.

b) Agua para contra incendio

La Refinería cuenta para su protección con sistemas contra incendio instalados en todas las unidades de proceso, servicios auxiliares y área de tanques de almacenamiento con una capacidad de a - portación de 1,215 metros cúbicos por día de agua y en caso de una emergencia hasta 26,640 metros cúbicos. Además las instalaciones cu entan con las facilidades de drenaje para manejar esos volúmenes de agua.

c) Agua para servicios

La Refinería esta dotada de un sistema de agua de servicios pa - ralelo a lo largo de todo el linderó perimetral de la Refinería, de donde salen aportaciones a zonas denominadas áreas verdes o de hor -

rato las cuales requieren de un mantenimiento permanente y cotidiano. El aporte que se destina para este efecto es de 1,782 metros cúbicos por día previendo una ampliación futura a 3,560 metros cúbicos al día.

d) Agua para la planta potabilizadora

La planta potabilizadora se alimenta con agua cruda a través de una línea de 0.15 metros de diámetro, la que proporciona un gasto diario de 260 metros cúbicos.

Las necesidades de agua potable para uso doméstico y por lo tanto los requerimientos de potabilización de la planta son los siguientes:

Suministro a plantas e instalaciones en general -----	49 M <sup>3</sup> /día
Áreas de oficinas administrativas -----	24 M <sup>3</sup> /día
Colonia de empleados -----	168 M <sup>3</sup> /día
Talleres y almacenes -----	19 M <sup>3</sup> /día
	<hr/>
	260 M <sup>3</sup> /día

Además del agua potable obtenida por tratamiento, en las áreas técnico - administrativas y de control, se cuentan con instalaciones provisionales de suministro de agua electropura la cual se destina exclusivamente para beber.

## CAPITULO III

### DESMINERALIZACION Y POTABILIZACION

#### Desmineralización

##### 3.1.- Utilidad

Es de sobra conocido por los análisis del agua, que ésta trae impurezas en tal proporción que si fuera introducida en forma directa a las Calderas generadoras de vapor, habría que someterlas a reparaciones continuas ya que las sales que trae disueltas el agua tienen la propiedad de precipitarse al aumentar la temperatura; esta precipitación tiende a incrustarse en los tubos de las Calderas.

Estas incrustaciones se forman en los puntos de mayor transferencia térmica; de ahí que los tubos de las Calderas incrustados requieren un mayor gradiente térmico entre el agua y la pared metálica, que el agua que requieren las Calderas con tubería limpia y operada a la misma capacidad.

Estas incrustaciones pueden causar fallas del metal en las secciones muy expuestas a la radiación, ya que no permite la transmisión de calor por lo que se sobrecalienta el tubo para poder alcanzar la temperatura deseada en el agua y producir vapor de 60 Kilos por centímetro cuadrado. De aquí que tenga gran importancia abastecer a las calderas con agua de buena calidad para reducir los costos de mantenimiento, dar mayor vida a estas y correr menos riesgos durante la operación.

Ya que la alimentación de agua a las Calderas generadoras de vapor debe hacerse con la mejor carga y calidad posible, se requiere someter al agua, previamente tratada, a un método de desionizado de soluciones empleando resinas.

Aún cuando no es tan eficiente como la destilación, este tratamiento da buenos resultados para eliminar iones en solución y en estado coloidal; es posible eliminar con este método electrólitos por intercambio iónico de manera tan eficiente como por destilación.

Los logros que se obtienen de este método, además de los ya mencionados son la disminución del contenido de sólidos totales disueltos al efectuarse la eliminación de calcio, magnesio, sodio, sílice y bicarbonatos.

A continuación se dan tablas comparativas con valores del análisis del agua de entrada y del efluente en las unidades catiónicas y aniónicas así como en la torre descarbonatadora.

ANALISIS DEL AGUA EN LAS UNIDADES CATIONICAS

	Agua de entrada (ppm como $\text{CaCO}_3$ )	Efluente (ppm como $\text{CaCO}_3$ )
$\text{Na}^+$	485	10
$\text{Ca}^{++}$	35	0
$\text{Mg}^{++}$	30	0

ANALISIS DEL AGUA EN LAS UNIDADES ANIONICAS

	Agua Descarbonatada (ppm como $\text{CaCO}_3$ )	Efluente (ppm como $\text{CaCO}_3$ )
$\text{Cl}^-$	244	4
$\text{SO}_4^-$	223	4
$\text{SiO}_2$	31	0.1

ANALISIS DEL AGUA EN LA TORRE DESCARBONATADORA

	Agua de Entrada (ppm como $\text{CaCO}_3$ )	Efluente (ppm como $\text{CaCO}_3$ )
$\text{CO}_2$	150	10

### 3.2.- Procesos

El agua pretratada llega por gravedad a la planta desmineralizadora desde la planta de pretratamiento a través de una línea de conducción aérea, de 0.51 metros de diámetro.

La planta desmineralizadora tiene una capacidad de 340 metros cúbicos por hora, efectuándose los siguientes procesos.

El agua pretratada entra a los intercambiadores catiónicos los cuales contienen resina catiónica (marca AMBERLITE IR-20) que como su nombre lo indica, elimina por intercambio los cationes de calcio, magnesio y sodio, siendo los dos primeros los causantes de la dureza del agua; por lo que sufrirá una disminución el contenido de sólidos totales disueltos. En este intercambio todas las sales son convertidas en sus respectivos ácidos sulfúrico, clorhídrico y carbónico debiéndose tomar precauciones con el equipo como recubrirlos con neopreno, resinas epóxicas, hule o material similar.

A medida que pasa cierta cantidad de agua a través de estas zeolitas, la resina se va agotando y cuando esto sucede completamente se tiene que regenerar con ácido sulfúrico para que vuelva a tener sus características de intercambio.

El agua conteniendo los ácidos arriba citados, es bombeada a los intercambiadores aniónicos los que contienen resina aniónica (mezcla de resina débilmente básica marca AMBERLITE IRA-93 y AMBERLITE IRA-402) en los que se eliminan los radicales ácidos fuertes, sulfatos, cloruros, bicarbonatos y el sílice.

Una vez agotada este tipo de resina se debe regenerar con sosa cáustica al 50 % de concentración.

Previo a la regeneración de las resinas se efectúa un retrolavado que tiene la función de aflojar y reacomodar la cama y de expulsar sustancias extrañas que se hubieren depositado en la parte superior.

El agua una vez desmineralizada se lleva a dos tanques de balance con capacidad de 3,180 metros cúbicos cada uno, de donde por medio de bombas es enviada a las Calderas para su uso; el consumo de agua en estas es de aproximadamente 6,000 metros cúbicos al día.

#### Cinética del intercambio catiónico

El intercambio puede dividirse en cinco pasos :

- 1.- Difusión de los iones de la solución a la superficie de las partículas intercambiadoras
- 2.- Difusión de los iones a través de la interfase.

- 3.- El intercambio de los iones en soluciones con los de la resina.
- 4.- Difusión del ion desplazado a través de la interfase.
- 5.- Difusión de este ion a través de la solución.

#### Cinética del intercambio aniónico

Es similar al intercambio catiónico, pero su velocidad es generalmente menor.

Las velocidades de intercambio dependen de varios factores tales como: características de la solución en contacto con la resina, agitación, diámetro de las partículas resinosas, atracción de la resina por el ion y temperatura del sistema.

A continuación se dan las características de las resinas usadas en los intercambiadores.

#### Resina catiónica IR-120

Capacidad teórica de intercambio	192 Kg/M <sup>3</sup>
Rango de acidez en que se trabaja	1 - 14
Temperatura máxima de operación	115 °C
Densidad aparente	801 a 881 Kg/M <sup>3</sup>
Nivel de regeneración	40 Kg/M <sup>3</sup>
Ácido necesario por cada regeneración	2,535 Kg.

#### Resina Aniónica IRA-93 débilmente básica

Capacidad teórica de intercambio	336 Kg/M <sup>3</sup>
Rango de acidez PH	0 - 7
Temperatura máxima de operación	100 °C
Densidad aparente	640 Kg/M <sup>3</sup>
Sosa necesaria por cada regeneración	1,221 Kg.

Resulta económico el uso de ácido sulfúrico como regenerador, sin embargo si se emplean concentraciones altas de ácido la resina puede sufrir deterioro en su estructura, además de presentar una disminución de su poder de intercambio. Para evitar esto es necesario iniciar la regeneración con una solución débil e ir aumentando gradualmente la concentración para no alargar excesivamente el tiempo.

## Potabilización

En la naturaleza rara vez se encuentran aguas puras a causa del poder disolvente, ionisante y de la acción erosiva de la misma naturaleza. El agua se carga con elementos provenientes de los medios con los cuales ha estado en contacto como sustancias en suspensión y en solución, las cuales pueden ser orgánicas o minerales; además de contener seres pequeñísimos que encuentran en el agua un medio de vida ocasional o permanente.

Las sustancias de origen orgánico que se encuentran en el agua son entre otras:

### 1.- En suspensión

Desechos orgánicos del suelo  
Materia orgánica en descomposición

### 2.- En dispersión coloidal

Materia orgánica coloidal  
Ácidos orgánicos

### 3.- En solución

Amoniaco  
Cloritos  
Nitritos y nitratos

Las sustancias de origen mineral que se encuentran en el agua son entre otras:

### 1.- En suspensión

Materias terreas, arenillas

### 2.- En dispersión coloidal

Arcillas  
Sílice  
Alumina  
Óxido de hierro

### 3.- En solución

Bicarbonatos  
Sulfatos de hierro  
Hidratos

Bicarbonatos

Carbonatos

Sulfatos de Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio

Cloruros

Nitratos

El objetivo principal de la potabilización del agua es la eliminación de todos los organismos patógenos y otras sustancias nocivas o inconvenientes que pueda contener el agua antes del proceso.

Los tratamientos que se emplean tienen por finalidad:

- a ) Remoción total de las impurezas en suspensión o disolución a través de los procesos:
  - Aereación
  - Sedimentación simple
  - Sedimentación con auxilio de coagulantes
  - Filtración lenta o rápida
- b ) Cambio de estado de los cuerpos extraños en condiciones que pierdan su nocividad
  - Uso de desinfectantes inofensivos
- c ) Acondicionamientos del agua para obtener la potabilidad deseada a través del agregado de sustancias indispensables.

## Procesos

El agua cruda llega por gravedad a la planta potabilizadora a través de una línea de conducción de acero carbón de 0.15 metros de diámetro.

La planta potabilizadora posee una capacidad de casi 11 metros cúbicos por hora y en ella se realizan los siguientes procesos.

El agua cruda entra a los filtros purificadores los cuales operan a base de carbón activado con una capacidad de servicio de 473 litros por minuto. En esta acción se lleva a cabo la remoción del hierro y el manganeso del agua así como la sedimentación de los materiales en suspensión.

La filtración que aquí ocurre no es otra cosa que hacer pasar una cierta cantidad de agua a través de un lecho poroso, con el fin de remover materia suspendida y coloides, aunque también se retienen bacterias y microorganismos que puede llevar el agua. De lo anterior se puede deducir que al efectuar la filtración se realiza una especie de colado mecánico, sedimentación o adsorción, metabolismo biológico y también cambios electro-líticos.

Mecánicamente se hace la remoción de aquellas partículas de materia suspendida que son suficientemente grandes como para que se retengan entre los intersticios que dejan los granos del lecho poroso, lo mismo pasa con la materia coloidal y las bacterias.

Los cambios electro-líticos tienen lugar debido a la teoría de los iones los cuales tienen una carga eléctrica, puesto que ya se sabe que si dos iones de carga contraria se ponen en contacto se neutralizan las cargas y hay un cambio químico; así puede decirse que la materia ionizada que lleva el agua que entra en los filtros reacciona alterando los elementos químicos del agua.

El medio filtrante es la parte del filtro más importante y deberá inspeccionarse a intervalos regulares para determinar su condición. Existe tendencia de algunas partes de la superficie a cubrirse con acumulaciones que si no se remueven al retrolavar el filtro puede ocasionar problemas serios de operación.

La limpieza de filtros generalmente se denomina retrolavado. Existen dos métodos:

- 1.- Por el paso hacia arriba de agua filtrada a través del medio filtrante a altas velocidades sin otro medio de agitación del lecho.
- 2.- Por el paso de agua filtrada hacia arriba a través del filtro, mientras

que el lecho se agita mediante chorros de agua, vapor o aire comprimido.

Estos dos métodos se denominan lavado a alta velocidad y lavado a baja velocidad.

La agitación con aire comprimido es efectiva para la remoción de depósitos adheridos a los granos del medio filtrante en las plantas destinadas a eliminar manganeso y hierro.

Una vez que el agua sale de los filtros, se efectúa una suavización por medio de unidades catiónicas, proceso que se lleva a cabo en intercambiadores catiónicos los cuales contienen resina catiónica eliminando el contenido de calcio, magnesio y sodio contenidos en el agua.

Las resinas son polímeros de compuestos orgánicos tales como fenoles, aldehídos, estireno y derivados del vinilo. Con el grado apropiado de enlaces cruzados, el polímero llega a ser insoluble en soluciones de prácticamente todos los electrólitos.

Las resinas para intercambio iónico pueden ser producidas en forma de pequeñas partículas esféricas descritas como perlas o en tamaños mayores las que se trituran y criban; el tamaño efectivo es de 0.40 a 0.45 milímetros.

Al sufrir agotamiento, la resina tiene que regenerarse con ácido sulfúrico para que nuevamente presente las características iniciales. Durante la regeneración acontece una expansión considerable del lecho y por ello debe tomarse en consideración el espacio libre suministrado para el retrolavado de la unidad.

La resina usada en este proceso es la AMBERLITE IR-120 estirenica; resina de estireno-polivinilo.

El agua obtenida del proceso en las unidades catiónicas es una agua desmineralizada la cual contiene ácido carbónico proveniente de las zeolitas catiónicas, el cual se ioniza descomponiéndose en  $\text{CO}_2$  y agua, por tal motivo el agua se lleva a una torre descarbonatadora para eliminar el  $\text{CO}_2$  por medio de aire que se hace fluir a contracorriente por un abanico.

Como comentario, se anota que existen tres métodos básicos para remover bióxido de carbono del agua:

Desgasificación térmica

Desgasificación al vacío

Aereación

Se recomienda remover inmediatamente después del tratamiento con ácido el bióxido de carbono del agua desmineralizada.

El agua desmineralizada, ya desgasificada, es enviada por bombas a un tanque de captación en el cual se le inyecta cloro a través de un clorador en la proporción de 90 Kilos por día. Con esto se logra la desinfección del agua. Así mismo la cloración ayuda a la prevención del agua contra las contaminaciones que se pudieran originar después de su tratamiento.

El agua ya potabilizada es enviada al tanque de almacenamiento de sistema hidroneumático, de donde a base de bombeo es enviada a todas las instalaciones donde se requiera agua potable. Como norma en general, se recomienda que esta agua se use para necesidades domésticas con la excepción de beber, aunque es de muy buena calidad.

## CAPÍTULO IV

### APROVECHAMIENTO

#### 4.1.- Tratamiento de Aguas Amargas

El depósito frecuente de las aguas de desecho de la industria petrolera en ríos, contamina las aguas que comunmente se utilizan como fuente de abastecimiento para otras industrias o comunidades vecinas, por lo cual se hace necesario el control de contaminantes de las aguas de desecho que pudieran perjudicar las aguas naturales.

La expansión industrial, con el consecuente aumento de la demanda de agua hace insuficiente las fuentes de abastecimiento, obligando a las industrias a la búsqueda de métodos efectivos y económicos para el tratamiento de las aguas de desecho, para su neutralización.

La intención de no causar problemas de contaminación en el caudal del río Tula, que es la corriente receptora del efluente de la Refinería, hace necesario el tratamiento de las aguas de desecho con la doble finalidad de volver a utilizarlas en la Refinería y hacer inocua la parte que inevitablemente va al río.

#### Origen de las aguas amargas

Se entiende por agua amarga el producto que se obtiene al emplear agua natural en el abatimiento de la viscosidad del crudo, en la producción de gasolinas, en calentamientos, en procesos de mezclado y en la eliminación del azufre contenido en la turbosina, diésel y diesel.

Las aguas amargas tienen su origen en las plantas Reductora de Viscosidad, Primaria Combinada y la Hidrodesulfuradora de Destilados Intermedios como una consecuencia de la naturaleza del proceso que se realiza en cada una de estas.

El proceso en forma general consiste en la modificación de la estructura de los compuestos del petróleo como el azufre, minerales, sales y nitrógeno, reduciendo el contenido de azufre en un 50 o 60 por ciento.

Las aguas así obtenidas de estos procesos son recolectadas en el fondo de los separadores de alta presión de las plantas antes citadas, donde es eliminada como condensado amargo el cual por su grado de contaminación es enviado al tratamiento de la planta de aguas amargas.

Las aguas de desecho utilizadas en los procesos arriba citados, contienen gran cantidad de compuestos de azufre así como sales, minerales e impurezas del crudo perjudiciales al equipo, los cuales se eliminan en el proceso de la planta de aguas amargas que a continuación se describe.

A través de una línea de 0.15 metros de diámetro el agua amarga es conducida a un tanque acumulador de alimentación, en el cual se efectúa la separación por cambio de densidades, del aceite contenido en el agua amarga. El aceite así separado es enviado al drenaje aciloso y el agua amarga es enviada por bombeo al precalentador y calentador de la mezcla de alimentación donde se introduce vapor que acelera el calentamiento.

Después de este calentamiento el agua amarga es llevada a una columna agotadora en donde se mezcla y precipita con vapor con el objeto de poder ser enviada a un condensador de domo enfriado por aire el cual prepara la mezcla que debe llegar a un tanque receptor del producto de domo, donde se desprenden los ácidos y gases del azufre; los primeros se conducen a la planta recuperadora de azufre y los segundos se envían por una línea especial a los quemadores de gases.

Por bombeo, el agua amarga es llevada nuevamente a la columna agotadora donde, precisamente, por agotamiento se eliminan las sustancias dañinas que pudiera contener el agua después de la eliminación de ácidos y gases.

El producto obtenido de la agotación se denomina agua desflemada, la que como tratamiento final es llevada a un hervidor de columna en donde se mezcla con vapor de calentamiento y a través de las bombas de descarga de agua desflemada es retornada a la planta Primaria Combinada, receptora del crudo, donde esta agua desflemada es usada para desalar el crudo (eliminación de impurezas perjudiciales).

#### 4.2.- Recirculación

La recirculación del agua es una operación importante que se debe vigilar tanto sus procesos como su funcionamiento, ya que cualquier abastecimiento de agua industrial depende de la calidad de esta recirculación, toda vez que al cumplir con las características para las que se requiere se podría usar en forma indefinida.

A continuación se dan factores que se deben vigilar en las instalaciones en las cuales se manejen aguas de este tipo.

- a) Actividad microbiana
- b) Corrosión
- c) Incrustaciones
- d) Calidad del agua
- e) Mantenimiento adecuado

A continuación se describe el funcionamiento de una torre de enfriamiento que se emplea en la Refinería.

El agua utilizada en el proceso de la refinación del petróleo sufre aumento de temperatura al servir como estabilizador de temperatura de los elementos que se procesan; esta agua con una temperatura de 46. °C es conducida por tubería a la parte superior de la torre de enfriamiento, ranurada en forma de cedazo, donde es depositada y por gravedad desciende, sufriendo un enfriamiento a través de ventiladores accionados por motores eléctricos, y por los cambios de dirección a que se somete al establecer contacto con los elementos internos de la torre dispuestos de tal forma de ayudar al enfriamiento; obteniéndose de esta manera una temperatura del líquido de 29 °C.

El agua que desciende es captada por un cárcamo, del cual se bombea, con una presión de 4 Kilos por centímetro cuadrado, a través de un cabezal a la tubería que la conducirá nuevamente a las plantas de proceso.

## CONCLUSIONES

En las instalaciones de la Refinería de Tula Hgo. son motivo de preocupación la calidad del agua que se emplea para procesos, así como el grado de contaminación de las aguas de desecho.

Con el empleo de los métodos y procedimientos antes descritos, Petróleos Mexicanos se esfuerza para que en una de las Refinerías más modernas que existen en nuestro país, se usen los sistemas de tratamiento más idóneos y actualizados, con el objeto de cumplir con los reglamentos y normas cada día más rigurosos, evitando de esta forma:

- a ) Sobre gastos en la construcción de instalaciones provisionales de los medios necesarios para tratamientos que sobre la marcha, en la operación de las instalaciones, se vayan detectando.
- b ) La contaminación de las aguas de desecho del área metropolitana que pasan por la zona donde las instalaciones de la Refinería vierten sus efluentes.