

20/12/84



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA**

**ESTUDIO FISICO—QUIMICO DE LAS  
AGUAS RESIDUALES DE LA  
REFINERIA DE CADEREYTA, N.L.;  
PARA SU TRATAMIENTO Y POSIBLE  
REUSO COMO AGUA DE  
ENFRIAMIENTO**

**T E S I S**

que para obtener el título de:  
Químico Farmacéutico Biólogo

p r e s e n t a :

**IBETH MARTINEZ RUIZ**

México, D.F.

1984



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

## CAPITULO I

INTRODUCCION Y OBJETIVO . . . . .	1
-----------------------------------	---

## CAPITULO II

CARACTERISTICAS DEL AGUA, SU ACONDICIONA MIENTO Y CONTAMINACION . . . . .	4
Agua. . . . .	4
Ciclo del Agua . . . . .	11
Algunas Características del Agua . . . . .	13
Acondicionamiento del Agua en la Industria . . . . .	20
Contaminación de Receptores por Aguas de - Instalaciones Industriales . . . . .	24
Agua de Enfriamiento . . . . .	35

## CAPITULO III

PARTE EXPERIMENTAL . . . . .	41
Obtención de Muestras . . . . .	41
Determinaciones Analíticas . . . . .	42

## CAPITULO IV

RESULTADOS . . . . .	59
Tablas de Resultados . . . . .	59
Interpretación de Resultados . . . . .	62

## CAPITULO V

TRATAMIENTO PROPUESTO . . . . .	64
Tratamiento Cal-Carbonato en Frío . . . . .	64
Tablas de Cálculo de Exceso de Reactivos . . . . .	76

CAPITULO VI

CONCLUSIONES . . . . .	81
ANEXOS . . . . .	84
BIBLIOGRAFIA . . . . .	88

## C A P I T U L O     I

### INTRODUCCION Y OBJETIVO

Los grandes avances tecnológicos que en materia de exploración, explotación y refinación del petróleo, se experimentan día con día en la República Mexicana; requieren también de grandes avances en lo que a tecnología de tratamiento de agua se refiere, ya que el agua es el elemento principal en cada una de las actividades antes mencionadas.

La industria de la refinación del petróleo emplea un gran caudal de agua en sus procesos, en términos generales los volúmenes de agua necesarios van de 2.5 a 3.0 veces el volumen de petróleo crudo que se procesa según sea la complejidad de la Refinería, correspondiendo a los sistemas de enfriamiento el caudal principal y en menor grado la generación de vapor y otros servicios auxiliares. Por lo tanto, el tratamiento de las aguas residuales de una refinería para su reutilización es de gran importancia en este momento y en el futuro, pues las fuentes de suministro de este preciado líquido cada vez son menos y en ocasiones de baja calidad para su empleo. Esto se debe al uso desmedido del agua así como a su contaminación directa o indirecta por los efluentes industriales y domésticos.

La Refinería de Cadereyta, N.L. tiene estimado un consumo máximo de agua de 800 l/seg. para procesar 235,000 barriles por día; este requerimiento de agua lo abastecen pozos localizados en las -

áreas de "Ramones-Papagayos" y "Cerritos" en el Estado de Nuevo León. Sin embargo, debido a que se ha notado que el nivel dinámico de los pozos en el área de Papagayos se abate constantemente y que existe actualmente falta de agua en la zona y tratando además de aprovechar al máximo los recursos naturales, se estableció la necesidad de un estudio tendiente a lograr la reutilización de las aguas residuales de la mencionada Refinería.

Este estudio tuvo como objetivo realizar una caracterización físico-química de las aguas residuales de los diferentes equipos de la Refinería, con el fin de establecer las bases de diseño, para un tratamiento que permita su reutilización como agua de enfriamiento.

Para lograr esto, se realizaron dos muestreos de las diferentes aguas de desecho de la Refinería, se caracterizaron y se seleccionaron las corrientes que representaban el mayor volumen y cuya remoción de materiales contaminantes requiriese de un sistema de tratamiento eficaz y económico.

Las corrientes seleccionadas para ello fueron:

- 1) Purgas de las torres de enfriamiento
- 2) Efluente de la planta Desmineralizadora

obteniéndose a su vez dos alternativas de tratamiento:

- 1) Segregación de las purgas de las torres de enfriamiento y tratamiento de las mismas por medio del sistema de cal-carbonato en frío, y
- 2) Segregación de las purgas de las torres de enfriamiento y del agua de lavados en la Planta Desmineralizadora y final-

mente tratamiento de la mezcla por el sistema cal-carbonato en -  
frío. Los efluentes del tratamiento se mezclarían posteriormen-  
te con agua de pozo para ser reutilizado como agua de enfriamiento  
to.

## C A P I T U L O     I I

### CARACTERISTICAS DEL AGUA, SU ACONDICIONAMIENTO Y CONTAMINACION

#### AGUA.

El agua juega un papel primordial en el desarrollo de los seres vivos sobre la tierra, se puede decir que es la base de la vida.

En efecto, la mayor parte del organismo humano está formado por agua y constituye el primero de sus alimentos después del aire. Es indispensable para la higiene, tanto del individuo como de su habitat. Asimismo, es fundamental para el desarrollo de los tejidos de los vegetales y está asociado a multitud de minerales y rocas,

Ejerce, por tanto, una gran influencia en el desarrollo de la agricultura, la industria, las vías de comunicación, las fuentes de energía, etc.

Según esto, y atendiendo a su uso se puede clasificar el agua - en:



	<b>Doméstico</b>	Bebida	Higiene personal
		Usos Domésticos	Higiene de la vivien <u>da</u>
			Vehículo para elimi <u>nar</u> residuos varios, etc
<b>USOS DEL AGUA</b>	<b>Comercial</b>	Higiene	
		Vías de comunicaci <u>ón</u> , etc.	
	<b>Industrial</b>	Fuentes de Energía	
		Incorporada a Diversos Productos Manufacturados	
		Como elemento auxiliar de fabrica <u>ci</u> ón	
		Como refrigerante y transportado <u>ra</u> de calor	
		Agua para Fines Generales	
	<b>Agrícola</b>	Riegos	
		Lavado de Terrenos, etc.	
	<b>Público</b>	Demanda de Incendios	
		Higiene de las Poblaciones	

Para la mayoría de estos usos, es de primordial interés controlar la calidad de la misma, ya que ligeras variaciones en el contenido de alguna de las impurezas presentes puede variar sensiblemente su calidad y hasta la puede convertir en inservible y a veces en altamente peligrosa para la salud.

De la consideración anterior se deduce la gran importancia que tiene el usar de una manera correcta una clase de agua; estudiando el origen, valoración y acción de los distintos compuestos y iones presentes en ella, ya sea en disolución y/o en suspensión.

También es importante considerar que con el incremento de la industria, así como la proliferación de los asentamientos humanos en las ciudades, los cursos superficiales de agua e incluso en muchos casos subterráneos, se ven alterados en su composición natural, de tal manera que se convierten en inservibles e incluso ~~se~~ peligrosos para los usos corrientes a que la destina el hombre, como se verá más adelante.

Esto hace que paralelamente se trate de conocer si una corriente de agua está o no contaminada, o mejor dicho, si se ha hecho inservible para un determinado uso.

Ante todo, qué es el agua (aquí se habla del agua pura, no del agua natural que siempre contiene disueltos sólidos y gases). Prescindiendo de consideraciones históricas, generalmente se dice que el agua es una combinación de hidrógeno y oxígeno, de fórmula  $H_2O$ .

Con el descubrimiento de los isótopos del hidrógeno y oxígeno, se ha visto que la definición del agua presenta gran complejidad. En efecto, junto al agua de fórmula  $H_2O$  existe la  $D_2O$  o sea, el agua pesada y la  $T_2O$  o agua hiperpesada. Igualmente existe un agua semipesada de fórmula  $HDO$ .

Si a esto se añade que existen tres oxígenos:  $O^{16}$ ,  $O^{17}$  y  $O^{18}$  nos encontramos que la molécula que se llama agua, es una mezcla de 18 moléculas posibles, aunque en la práctica sea una mezcla de agua ligera ( $H_2O$ ) y de muy pequeñas cantidades de agua pesada y de agua hiperpesada. Los otros compuestos no existen prácticamente.

Esta complicación unida a su polaridad, hace que todas las constantes físicas del agua sean especiales.

El agua sólida se presenta bajo seis formas alotrópicas en las que una sola, el hielo ordinario, es más ligero que el agua líquida (1).

Se sabe que el agua se presenta corrientemente, en las condiciones ambientales en los tres estados: gaseoso, líquido o sólido y su importancia físico-química es tal, que las temperaturas de transformación de un estado en otro han sido tomadas como puntos fijos. Es por lo tanto, un líquido con grandes características entre las cuales se encuentran como más importantes:

1. El valor máximo de su densidad la presenta el agua líquida a la temperatura de  $+ 3.98^{\circ}C$ .
2. Como consecuencia de lo anterior, el agua sufre una expansión al solidificarse.
3. Tiene una tensión superficial muy elevada.
4. Calor específico alto.

5. Un gran calor latente de fusión
6. Conductividad térmica elevada
7. Fuerte poder ionizante y corriente dieléctrica elevada
8. Gran poder disolvente.
9. Propiedades de combinación
10. Propiedades oxidantes y reductoras.

En efecto, su densidad es 1 (exactamente 0.9999) y pasa por un máximo, como ya se ha dicho, a  $+3.98^{\circ}\text{C}$ , a la presión ordinaria. La viscosidad contrariamente a lo que pasa con otros líquidos, disminuye cuando la presión aumenta.

El agua líquida se solidifica a cero grados, dando hielo y experimentado un aumento de volumen. Hierve a  $100^{\circ}\text{C}$ , a 760mm de presión.

Tanto el punto de congelación como el de ebullición, son anormales, debido a las asociaciones moleculares. El punto de ebullición deberá estar, si la molécula fuese única, por debajo de  $-63,5^{\circ}\text{C}$ .

El agua es poco conductora de la corriente eléctrica, estando ligeramente disociada en  $\text{H}_3\text{O}^+$  y  $\text{OH}^-$  o en  $2\text{H}^+$  y  $\text{O}^-$ . Tiene la propiedad de producir la disociación electrolítica y la hidrólisis.

En los minerales, el agua se encuentra en las formas siguientes: como agua de constitución, de cristalización, de adsorción, etc. Además, en los organismos se encuentra combinada fisiológicamente. (1).

Todas estas formas se resumen como sigue:

	Agua de constitución (unión química)
	Agua de hidratación o de cristalización (unión físico-química en los cristales.
Diversas formas en que el agua se presenta en la materia	
	Agua de adsorción o de humidificación
	Agua combinada fisiológicamente.

El agua representa el 60% en peso del cuerpo humano, encontrándose 1/3 de la misma extracelularmente y los 2/3 restantes en el interior de la célula, como agua libre, agua combinada o agua estructural.

En los seres vivientes, existe una verdadera corriente de agua que pasa a través del cuerpo y que constituye el medio imprescindible para que se puedan realizar las reacciones bioquímicas, necesarias en las diversas etapas del metabolismo.

En particular, el metabolismo propio del agua como agente físico o físicoquímico, está estrechamente ligado al de las sales minerales, ya que la mineralización del agua de una determinada región, condiciona la mineralización del organismo.

En efecto, los seres vivientes no consumen agua químicamente pura, ya que lo que disponen es de agua natural, la cual es - una solución de numerosas sustancias más o menos concentradas en el agua. Estas aportan propiedades particulares, tanto favorables como desfavorables.

Estas sustancias que se disuelven en el agua, pueden ser gaseosas, líquidas o sólidas y como ya se ha dicho, el estudio de las propiedades que comunican al agua, así como la valoración de las mismas, constituyen una parte de la química del agua. La biología del agua se ocupa del estudio de los microorganismos presentes en la misma, bacterias, hongos y algas y en general de todas las plantas y animales que viven en su seno y pueden condicionar su calidad en uno u otro sentido.

La molécula de agua está constituida por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, estando saturada desde el punto de vista de sus valencias ordinarias (dos negativas del oxígeno y una positiva de cada hidrógeno) pero poseen cargas residuales, que permiten se logre establecer el llamado enlace de hidrógeno, - (puentes de hidrógeno). (2)

## CICLO DEL AGUA

En la escala de calidad de las aguas, se encuentran, en un extremo, los objetivos y normas para el logro de una agua potable y de buen sabor y por el otro, los requisitos de calidad para efluentes de aguas residuales que se descargan en las masas receptoras de agua.

Finalmente, el control de calidad de las aguas, en su sentido más amplio, implica que se deben conocer las propiedades que poseen las múltiples clases de aguas existentes en la tierra, los arroyos que escurren por las laderas de las montañas, los ríos que se mueven hacia los mares, los lagos y océanos que se prolongan hacia lejanos horizontes y las placenteras aguas que brotan del suelo en fuentes claras y refrescantes. Fig. 1.

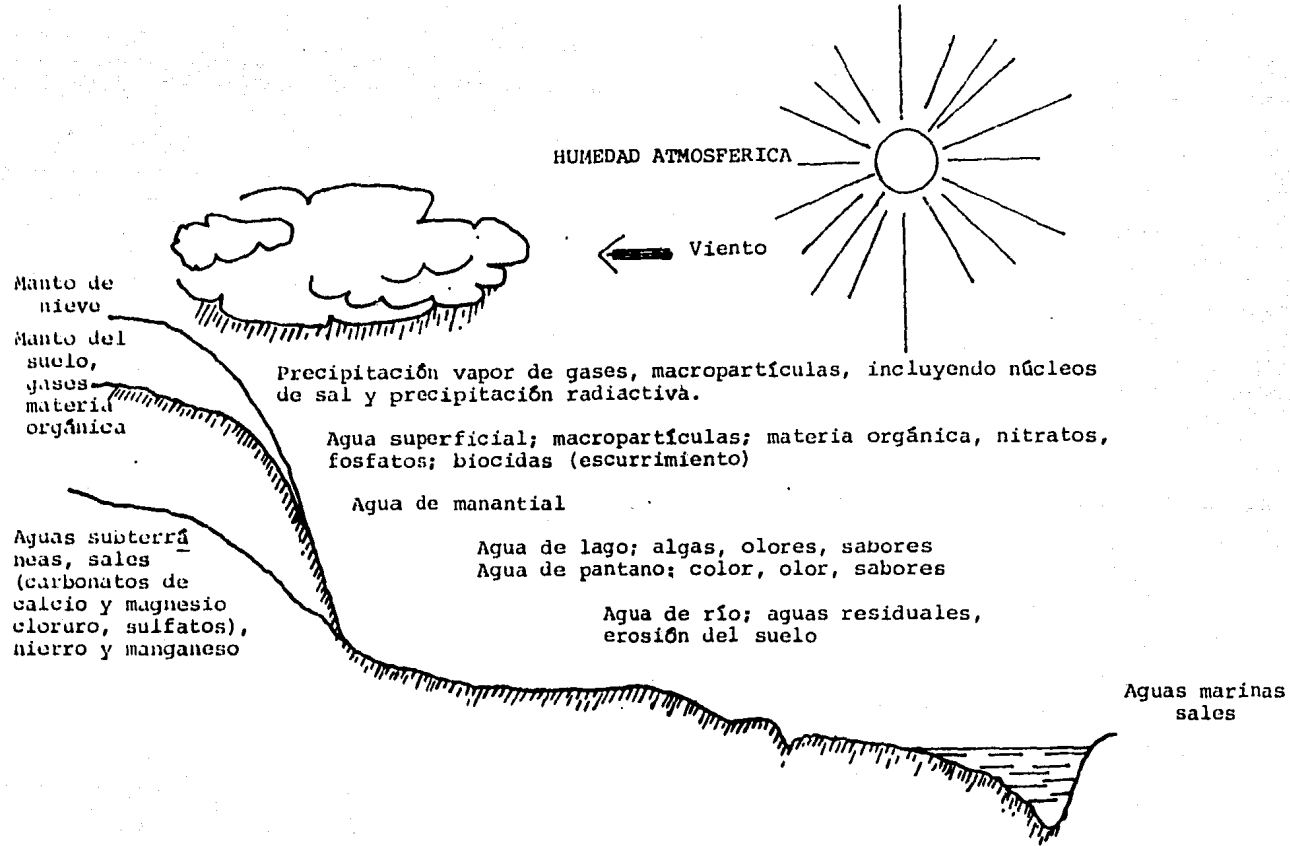


Fig. 1 PROPIEDADES CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS NATURALES EN EL CICLO HIDROLOGICO



ALGUNAS CARACTERISTICAS IMPORTANTES DEL AGUA.

**ALCALINIDAD.**

La alcalinidad de una agua es una medida de su capacidad para neutralizar ácidos. (3)

Normalmente se considera que la alcalinidad es producida por los bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos presentes en la muestra de agua; sin embargo, existen otros iones como los fosfatos, silicatos, etc. que contribuyen parcialmente a la alcalinidad.

Una prueba comúnmente empleada para determinar la alcalinidad del agua, consiste en la titulación de la muestra con una solución estándar de un ácido mineral fuerte, usando fenolftaleína y anaranjado de metilo como indicadores.

Fig. 2 CALCULO DE LA ALCALINIDAD

RESULTADOS DE LA TITULACION	HIDROXIDÓS	CARBONATOS	BICARBONATOS
$P = 0$	0	0	T
$P < 1/2 T$	0	2P	T-2P
$P = 1/2 T$	0	2P	0
$P > 1/2 T$	2P-T	2(T-P)	0
$P = T$	T	0	0

Donde:

P = alcalinidad a la fenolftaleína

T = alcalinidad al anaranjado de metilo (alcalinidad total).

En la determinación de la alcalinidad en agua que contenga una mezcla de hidróxido y carbonatos o de carbonatos y bicarbonatos se utiliza la fenolftaleína como indicador ya que, al agregar el ácido valorado en presencia de este indicador, el cambio de color se efectúa cuando se neutralizan todos los hidróxidos y sólo la mitad de los carbonatos, según las siguientes reacciones:



El bicarbonato formado por hidrólisis produce una solución cuyo pH es de 8,2, decolora a la fenolftaleína, cuyo punto de viraje se encuentra entre pH 8,3 y 10. Si se añade anaranjado de metilo, frente al cual la solución todavía es alcalina, puesto que este indicador vira entre pH 3,2 y 4,4, al agregar ácido valorado el bicarbonato formado se neutraliza hasta que el color amarillo cambie a naranja o ligeramente rosado. En esta segunda titulación el ácido neutraliza el bicarbonato formado en la primera, según la reacción:



Las relaciones entre las diferentes alcalinidades y los iones presentes en el agua, se explican claramente en la Fig. 2.

## DUREZA.

La presencia de sales solubles de calcio y magnesio causan la dureza en el agua, por lo que el grado de dureza llega a ser directamente proporcional a la cantidad en que estos metales pesados están presentes.

La dureza para su estudio puede clasificarse en:

- |                     |  |
|---------------------|--|
| - Dureza temporal   | Producida por bicarbonatos   |
| - Dureza permanente | Producida por sales como cloruros, sulfatos                          |
| - Dureza total      | Es igual a la suma de la dureza - temporal más la dureza permanente. |

Cuando la dureza total es mayor que la alcalinidad debida a los carbonatos y bicarbonatos, la cantidad de dureza equivalente a la alcalinidad es denominada dureza por carbonatos y el resto de la dureza es no carbonatada.

Cuando la alcalinidad debida a la suma de carbonatos y bicarbonatos es igual o excede a la dureza total, toda la dureza es por carbonatos y por lo tanto no hay dureza no carbonatada.

La dureza es la causa de la formación de incrustaciones en las - tuberías, las que forman lentamente, debido a la precipitación - de las sales de calcio y magnesio sobre las superficies del me- tal.

¿Por qué tiene dureza el agua?

Las aguas naturales captan dióxido de carbono del aire y de la vegetación en estado de descomposición. El dióxido de carbono acidifica ligeramente el agua y por acción de la misma sobre

## DUREZA.

La presencia de sales solubles de calcio y magnesio causan la dureza en el agua, por lo que el grado de dureza llega a ser directamente proporcional a la cantidad en que estos metales pesados están presentes.

La dureza para su estudio puede clasificarse en:

- Dureza temporal                      Producida por bicarbonatos
- Dureza permanente                  Producida por sales como cloruros, sulfatos
- Dureza total                         Es igual a la suma de la dureza temporal más la dureza permanente.

Cuando la dureza total es mayor que la alcalinidad debida a los carbonatos y bicarbonatos, la cantidad de dureza equivalente a la alcalinidad es denominada dureza por carbonatos y el resto de la dureza es no carbonatada.

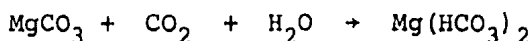
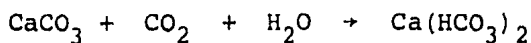
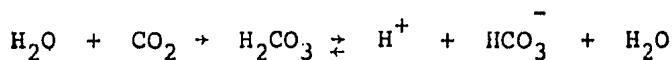
Cuando la alcalinidad debida a la suma de carbonatos y bicarbonatos es igual o excede a la dureza total, toda la dureza es por carbonatos y por lo tanto no hay dureza no carbonatada.

La dureza es la causa de la formación de incrustaciones en las tuberías, las que forman lentamente, debido a la precipitación de las sales de calcio y magnesio sobre las superficies del metal.

¿Por qué tiene dureza el agua?

Las aguas naturales captan dióxido de carbono del aire y de la vegetación en estado de descomposición. El dióxido de carbono acidifica ligeramente el agua y por acción de la misma sobre

los materiales pétreos que contienen sales de calcio o magnesio solubilizan estos materiales en forma de bicarbonatos.



El pH

El agua consiste de un balance delicado entre los iones ( $\text{H}^+$ ) y los iones ( $\text{OH}^-$ ). En agua completamente pura, estos iones se neutralizan unos a otros. Las impurezas disueltas en el agua desequilibran este balance, haciendo que indistintamente predominen los iones hidrógeno o los iones oxhidrilos.

El pH del agua es simplemente la medida de la concentración de iones hidrógeno ( $\text{H}^+$ ). Está basado en una escala cuyo intervalo oscila de 0 a 14, con el 7 como punto neutro. A un pH arriba de 7, el agua es alcalina y con valores menores de 7 es ácida.

La expresión matemática más común para expresar el valor del pH es:

$$\text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]}$$

Donde  $[\text{H}^+]$  = concentración de iones hidrógeno en moles/l.

EL INDICE DE ESTABILIDAD DEL AGUA.

El Índice de Estabilidad (Índice de Ryznar) de una agua se refiere a su balance mineral y es una indicación de que el agua contiene minerales en mayor cantidad de los que puede mantener en solución o del grado al cual ha sido satisfecha su capacidad para disolver minerales. Los factores que determinan la estabilidad son: Dureza, alcalinidad, temperatura y pH.

Estos parámetros se encuentran graficados para diferentes tipos de aguas. Se incluyen dibujos en donde se indica la:

Gráfica del índice de Langelier para determinar el pH de saturación y (Fig. 3).

Los comportamientos de diferentes tipos de agua y sus correspondientes índices de estabilidad, (Fig. 4).

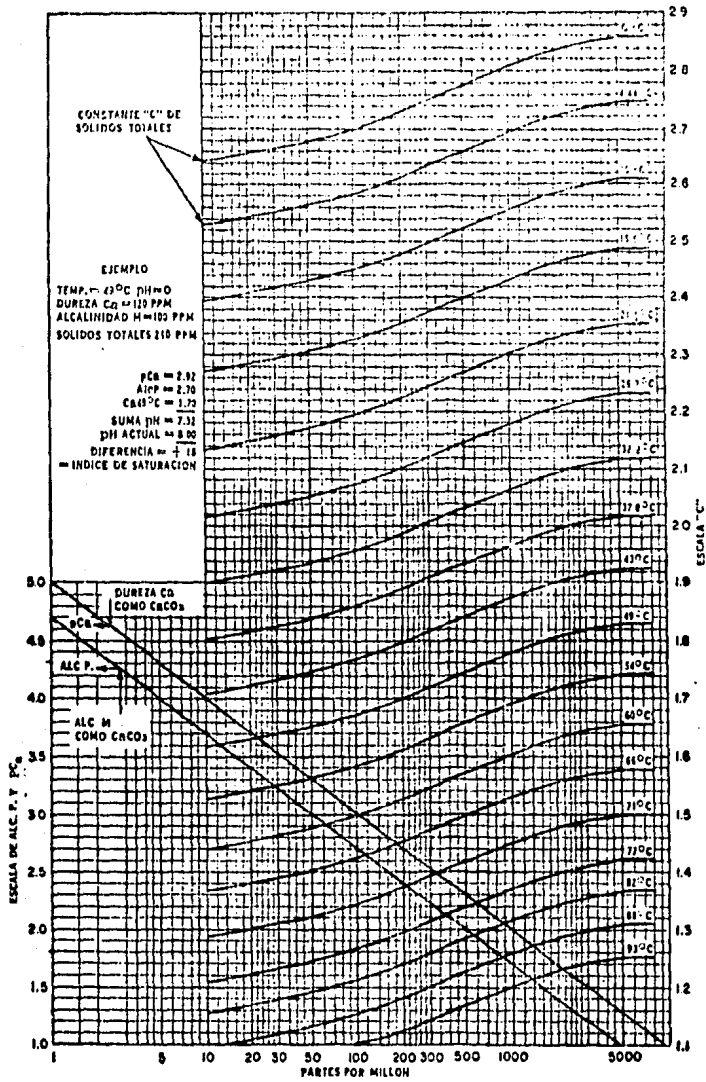


Fig. 3. Gráfica del Índice de Langlier para Determinar el pH de Saturación.

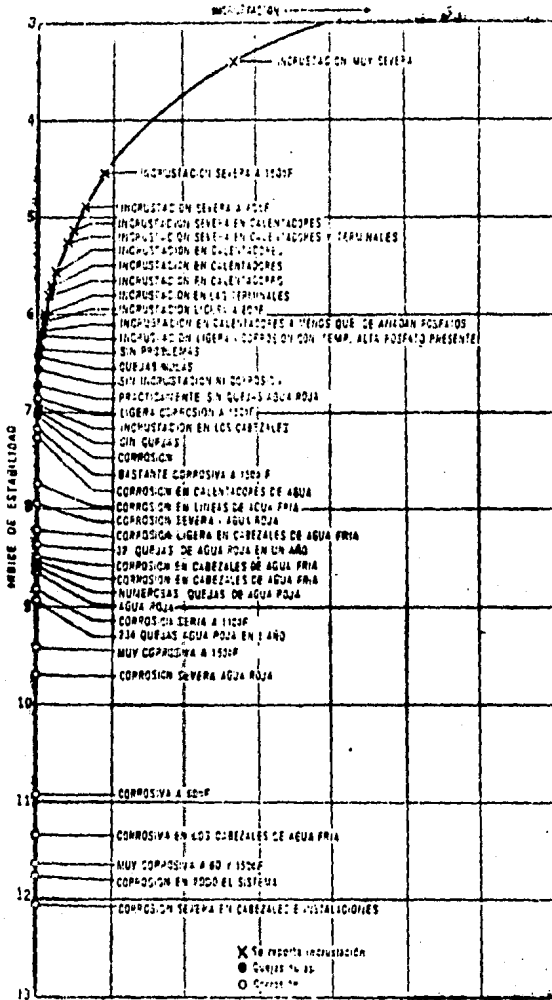


Fig. 4 Comportamiento de Diferentes Tipos de Agua y sus Correspondientes Índices de Estabilidad



El pH de saturación (pH<sub>s</sub>) de agua es aquél en que el agua puede contener una mayor cantidad de calcio en solución.

Si el pH actual del agua es mayor que el pH<sub>s</sub> existe la tendencia del calcio a precipitar y el agua es considerada "incrustante" a esta temperatura. Si el agua no es incrustante (el pH actual menor que el pH<sub>s</sub>) tenderá a disolver una cantidad adicional de dureza o de otros metales y se considerará corrosiva.

El índice de estabilidad de Langelier no da una indicación cuantitativa de qué tan corrosiva o incrustante es un agua a su vez. El índice de Ryznar fue desarrollado como medio para ampliar la utilidad del índice de Langelier y expresar en forma cuantitativa las características corrosivas e incrustantes del agua.

El índice de Ryznar se calcula a partir de la ecuación:

$$IE = 2 \text{ pH}_s - \text{pH}$$

Para sus valores arriba de 7 el agua es corrosiva. Para valores abajo de 7 el agua es incrustante. Ver gráfica 2.

#### ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA EN LA INDUSTRIA PETROLERA.

El agua empleada directa o indirectamente en un proceso industrial, se clasifica como agua de uso industrial.

Dentro de los usos industriales del agua se encuentran el agua para calentadores que generan vapor, la utilizada para enfriamiento, lavado, etc. Estos usos pueden ser generales o bastante

te específicos para cada industria y destino. Debido a la gran gama de usos industriales del agua, se deduce la importancia - del acondicionamiento de ésta en la industria petrolera.

¿Qué es el Acondicionamiento Industrial del Agua?

El acondicionamiento del agua para la industria, tiene como propósito lograr obtener agua adecuada (dentro de especificaciones) para los diferentes procesos, entendiéndose estos procesos como el uso industrial al que se le va a destinar. Para lograr lo anterior, generalmente se incluyen;

1. La eliminación o disminución de impurezas indeseables en el agua, Ejemplos: eliminación de:
  - a) Materia orgánica
  - b) Dureza
  - c) Oxígeno
  - d) Sulfuros, etc,
2. El incremento de propiedades deseables para el agua, por medio de la adición de inhibidores de corrosión, de incrustación, etc,

El acondicionamiento del agua para la industria puede ser agrupada en dos grandes esferas de operación:

- Tratamiento externo
- Tratamiento interno.

### Tratamiento Externo.

Esta fase del acondicionamiento industrial del agua tiene varios nombres: Tratamiento preliminar, pre-tratamiento, tratamiento indirecto, purificación primaria, etc. Cualquier cosa que implique hacerle algo al agua para hacerla más conveniente, dependiendo del uso a que se destine.

El tratamiento externo, generalmente requiere el uso de equipo, el cual puede incluir procesos ablandadores, calientes o fríos, zeolitas y otros sistemas intercambiadores de iones; deareadores, filtros, clarificadores, etc.; tal equipo es usado con el propósito de reducir la materia orgánica, la dureza y la alcalinidad, eliminar el oxígeno disuelto y para eliminar sólidos en suspensión, entre otros.

Generalmente la pureza del agua proviene del uso de los equipos mencionados, aunque en muchos casos se necesitan tratamientos químicos internos para completar la protección contra la corrosión e incrustación y para eliminar contaminaciones que puedan originar problemas en el equipo.

Existen casos donde la inversión económica del equipo para el tratamiento externo no es conveniente por los siguientes motivos:

1. Debido a las estrictas especificaciones del agua requerida para proporcionar un agua de buena calidad.
2. El tamaño tan pequeño de la planta, o una combinación de estas dos razones. En tales casos, el tratamiento químico será el único que dará resultados económicamente factibles.

### Tratamiento Químico Interno.

Semejante al tratamiento externo, esta fase de acondicionamiento industrial del agua es conocida también como: Tratamiento secundario, post-tratamiento, tratamiento directo, etc., en este caso, significa hacerle algo al agua durante el uso de la misma, para mejorarla con cobjeto de darle una aplicación especial.

El tratamiento químico interno es usado en sistemas de agua para enfriamiento, para la prevención de la corrosión, incrustación y la formación de crecimientos biológicos.

Existen también casos donde el tratamiento químico interno es usado en la solución de un problema específico, estos casos incluyen el uso de diferentes compuestos químicos, los que estarán en función del uso que se le piensa dar al agua y que tiene por objeto mejorar las condiciones de la misma.

El acondicionamiento de agua es un muchos aspectos diferente respecto a otros campos de la industria. Esto demanda una gran variedad de conocimientos incluyendo química, fisicoquímica, mecánica, ingeniería sanitaria y microbiología.

### Control del Acondicionamiento del Agua.

Dentro del control del acondicionamiento del agua, los análisis son una parte esencial del programa.

Los procesos de corrosión, incrustación, formación de sustancias viscosas, etc., son procesos dinámicos, no estáticos.

El sistema de medición empleado para su control debe ajustarse frecuentemente al análisis del agua. En tales análisis no se necesitan determinar todos los iones o sustancias presentes - en el agua, pero sí se requiere para el control del tratamiento del proceso. Por ejemplo, en la zeolita de sodio, ablandadora, las pruebas importantes para el objetivo del control son dureza y cloruros. La prueba de dureza se emplea para determinar el fin del ciclo de ablandamiento y la prueba del ión cloruro para determinar el fin del ciclo de lavado, cuando el valor de este ión sea igual al del influente.

#### CONTAMINACION DE RECEPTORES DE AGUAS RESIDUALES DE INSTALACIONES INDUSTRIALES.

El agua como recurso natural, tiene por consecuencia características que limitan su disponibilidad, ya sea debido a factores geográficos de distribución o de calidad,

Las diversas actividades de los conglomerados humanos y su incidencia en la modificación del medio ambiente, conducen, en el caso del uso de los recursos hidráulicos, a una degradación progresiva del agua, dependiendo del empleo a que se destine.

El hombre al hacer uso en su provecho del agua, agrega más impurezas, sean éstas producto del empleo del agua para fines domésticos o industriales. Este aumento de impurezas en el agua, ha llegado en nuestros días hasta niveles alarmantes, y el hombre al haber hecho progresar su ciencia y tecnología, también ha sido capaz de medir las consecuencias que tendría para sí mismo, si no modifica su actitud respecto al mundo en que vive.

Al hablar de contaminación del agua, se debe establecer que es sumamente amplio el tema, ya que el agua de desecho puede ser contaminante en alto grado para una corriente receptora, y en otros casos la misma agua puede no serlo, por lo que estudio y análisis particular de cada caso es indispensable.

#### Contaminantes más Comunes en las Aguas Residuales Industriales.

a) Sólidos orgánicos o inorgánicos suspendidos los cuales producen los siguientes problemas:

1. Dan mal aspecto al agua
2. Causan turbidez, que dificulta la entrada de la luz a capas inferiores, disminuyendo por lo tanto, su capacidad productora de oxígeno.
3. Si son más pesados que el agua, se depositan en el fondo cuando las corrientes son lentas o nulas, ahogando la vida vegetal y animal del mismo, tapando los orificios o grietas que sirven de refugio a los peces o para desovar. Si estos depósitos son muy abundantes, forman bancos que obstaculizan la navegación, que llenan los cauces de los ríos propiciando las inundaciones, o disminuyendo la capacidad de los lagos y presas.
4. Si son más ligeros, flotan, formando una nata que obstruye el paso de la luz y del oxígeno del aire.

5. Los sólidos no disueltos pueden destruir los lugares de recreo, formando fango en las playas o llevando su ciudad en la superficie.
  6. También dificultan las tomas de agua, porque obstruyen los cedazos, o porque forman bancos de depósitos que obligan a establecer tomas mucho más adentro en grandes masas de aguas.
  7. Los sólidos de origen orgánico son también consumidores de oxígeno, se pudren y producen mal olor.
  8. Cuando las aguas se utilizan para regar, los sólidos, minerales u orgánicos, se depositan en los terrenos y dependiendo de su naturaleza, pueden volverla estériles poco a poco.
- b) Las sustancias orgánicas disueltas, ocasionan los siguientes problemas:
1. Son consumidores de oxígeno, por lo que causan indirectamente los trastornos de la carencia de oxígeno disuelto en el agua.
  2. Pueden contribuir al desarrollo excesivo de la vegetación acuática, la que al morir, constituye mucha mayor cantidad de materiales orgánicos con la consiguiente demanda de oxígeno.
  3. Las sustancias orgánicas se pudren produciendo malos olores, principalmente en ausencia de oxígeno.

4. Pueden afectar hasta aguas subterráneas, llevándoles microorganismos patógenos y comunicándoles mal sabor y olor.
5. Los detergentes facilitan la formación de espuma, que se mantiene en la superficie e impide el paso de la luz y del oxígeno y ocasiona problemas de disminución en la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

c) pH

Los valores altos o bajos de pH, afectan la vida acuática, son irritantes para el organismo humano, principalmente para los ojos, son corrosivos afectando tuberías, embarcaciones e instalaciones y construcciones en contacto con el agua, principalmente los drenajes, dificultan o impiden la actividad de los microorganismos en los tratamientos como son: los filtros percoladores y lodos activados, etc.

d) Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto no es un contaminante pero su ausencia hace inadecuada el agua para la vida ya que:

1. Los peces, las plantas y los microorganismos aeróbicos no pueden vivir en ausencia del oxígeno.
2. La ausencia de oxígeno disuelto, favorece también el crecimiento de organismos anaerobios que producen la putrefacción de la materia orgánica y por lo tanto, los malos olores y sabores.



e) Los sólidos minerales disueltos.

Estos sólidos son perjudiciales porque originan cambios en la presión osmótica, deshidratando las células de los organismos vivos.

f) Los nutrientes.

Estos compuestos propiamente son: nitrógeno, fósforo y potasio que favorecen el crecimiento excesivo de la vegetación acuática, la cual al morir constituye un gran demandante de oxígeno.

g) Sustancias tóxicas.

Este tipo de sustancias causan serios trastornos en los diferentes seres vivos; ejemplos: cianuros, cloruros, cobre, cromo, arsénico.

h) Temperatura.

Los cambios de temperatura modifican el equilibrio ecológico del receptor.

i) Aceite.

La contaminación por aceite es una consecuencia casi inevitable de la dependencia de una tecnología basada en el petróleo. El término aceite en el contexto ambiental se refiere no únicamente al petróleo crudo, sino también a los productos del petróleo refinado.

Los problemas de la contaminación por aceite deben ser pensados en términos de corto y largo plazo. Los efectos a corto plazo son notorios y son los que reciben más publicidad,

los efectos a largo plazo ocurren lentamente y son objeto de varios estudios.

Los problemas por contaminación a corto plazo se dividen en dos categorías:

1. Aquellos causados por la película de aceite
2. Aquellos que resultan de la toxicidad del aceite mismo.

Los efectos causados por la película de aceite son:

1. Impiden el paso de la luz, retardando el proceso de fotosíntesis de las plantas marinas.
2. Reducen la cantidad de oxígeno disuelto. Las películas de aceite retardan la velocidad de captación de oxígeno por el agua, ocasionando una disminución en el contenido de oxígeno disuelto en aguas contaminadas comparativamente con aguas limpias, lo que origina la muerte de seres aeróbicos por asfixia.
3. Dañan las aves marinas. Las aves son cubiertas por aceite provocando que su plumaje se compacte y les impida volar, por lo que no es posible que realicen sus inmigraciones y algunas mueran rápidamente.

j) Metales tóxicos.

La contaminación del agua tiene muchas y variadas fuentes de origen por ejemplo: pesticidas, detergentes, aceites, etc. y recientemente los metales tóxicos han sido identificados - como una nueva forma, quizá la más peligrosa de todas.

k) Pesticidas.

Constituyen una clase de compuestos químicos ahora reconocidos. Algunos de los cuales se les conoce por sus nombres comerciales tales como: DDT, Aldrina, Clordano, Dieldrina Heptacloro y Askareles. Estos pesticidas fueron inicialmente celebrados como uno de los grandes descubrimientos del siglo XX. Son fáciles de elaborar, baratos y constituyen venenos eficaces; sin embargo, estos compuestos clorados presentan los siguientes inconvenientes:

1. Son venenos universales
2. Se degradan lentamente
3. Son solubles en grasa y por lo tanto se depositan en ella en los organismos.

**Tipos de Contaminantes en las Aguas Residuales de Refinerías de Petróleo.**

En las refinerías de petróleo se presentan problemas específicos de contaminación dependiendo de los procesos que se tienen en operación en las plantas.

En forma general se puede decir que las fuentes de contaminación y sus principales contaminantes, en las refinerías de petróleo son:

a) Almacenamiento de Crudo.

Los tanques de almacenamiento se diseñan para separar el agua y los sólidos en suspensión. El agua de dureza va hacia el sistema de drenaje aceitoso y sus contaminantes, de-

pendiendo del origen del crudo son: ácido sulfhídrico, mercaptanos, sólidos totales, cloruros, sílice, y pH.

b) Aguas de Purgas No Aceitosas.

Estas aguas provienen de las áreas de servicios auxiliares y sus contaminantes son generalmente: ácido sulfhídrico, amoníaco, fenoles.

c) Aguas Provenientes de las Desaladoras de Crudo.

Este proceso genera una agua residual con los siguientes contaminantes: sulfuros, fenoles, grasas y aceites, y principalmente sólidos disueltos.

d) Aguas de Purga Aceitosas

Estas provienen principalmente de las áreas de proceso y sus contaminantes comunes son: ácido sulfhídrico, amoníaco, cianuros, fenoles.

e) Aguas de Enfriamiento.

El agua de enfriamiento contiene normalmente: inhibidores de corrosión, biocidas y algicidas, sus contaminantes más comunes son: cromatos, aceite, fenoles, ácido sulfhídrico,

### Segregación de Drenajes.

La segregación de drenajes es muy importante en un sistema de eliminación de contaminantes y ésta dependerá del tipo de plantas que se tengan, ya que sus aguas residuales pueden ser de -

distinta composición. La Figura No. 2 muestra la segregación de corrientes que se enviarán a los siguientes drenajes: aceitoso, pluvial, sanitario y químico. (Fig. 5).

1) Drenaje Aceitoso

Es aquel que recibe purgas directas de hidrocarburos de las distintas áreas de plantas de tanques de almacenamiento de - crudos, destilados intermedios y de talleres.

2) Drenaje Pluvial.

Este drenaje es aquel que recolecta todas las aguas libres - de hidrocarburos o productos corrosivos, así como de las pre ci pi ta ci o ne s pl u v i a l e s.

3) Drenaje Sanitario.

Está constituido por las aguas negras provenientes de los - edificios administrativos, almacén, talleres, etc. y deberán tratarse en fosas sé p t i c a s cuyo efluente se enviará al dre na je pl u v i a l.

4) Drenaje Químico.

Se considera como drenaje químico, los efluentes de las plan ta s de proceso, constituidos por: purgas de los sistemas de am in as, aguas amargas de acumuladores de plantas, so sa s gas ta da s de plantas de tratamiento ca d ás t i c o, plan ta s de eti li za ci ó n y descargas de productos corrosivos.

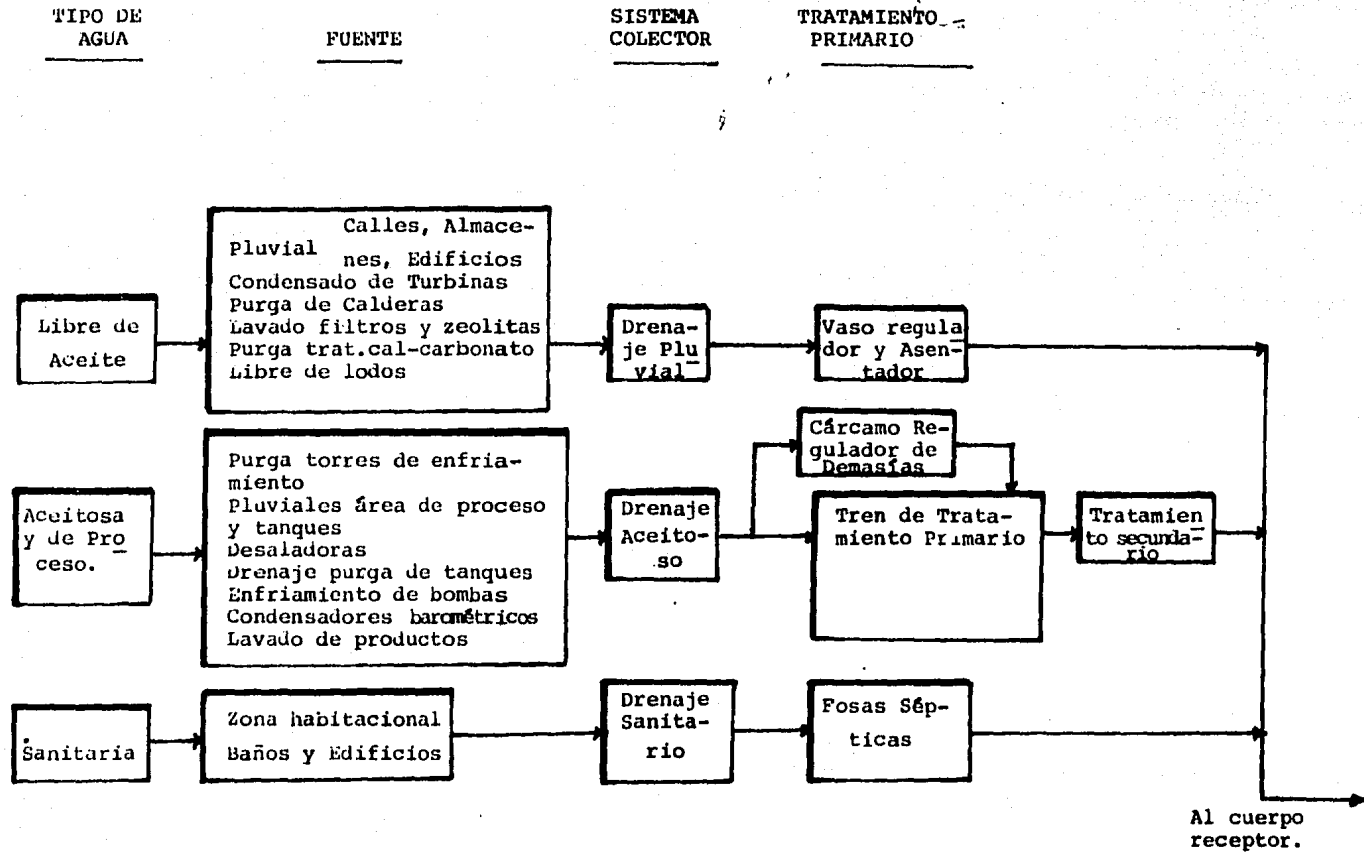
Desde hace aproximadamente diez años, se ha observado una marcada tendencia a distribuir los drenajes racionalmente, con el fin de cubrir los siguientes objetivos:

- Facilitar el tratamiento de las aguas de desecho.
- Reutilizar el mayor volumen de agua posible que no requiera tratamiento.

Los arreglos que se pueden hacer son muy diversos, debido a la gran cantidad de corrientes. En general, se procura llegar a la distribución siguiente:

1. Aguas negras
2. Aguas aceitosas recuperables
3. Aguas no aceitosas recuperables
4. Aguas aceitosas no recuperables.

Fig. 5. SEGREGACION DE AGUAS DE DESECHO DE REFINERIAS



## AGUA DE ENFRIAMIENTO.

Puesto que el objetivo del presente estudio es la caracterización físico-química de las aguas residuales de la Refinería de Cadereyta, para su tratamiento y posible reuso como agua de enfriamiento, es necesario mencionar cómo se hará más adelante, las características de esta agua, los tipos de sistemas de enfriamiento que existen, los principios en los que se basa la operación de una torre de enfriamiento, así como de la clasificación de estas torres.

### Especificaciones Sobre Agua de Enfriamiento.

Las características que debe reunir el agua de enfriamiento varían mucho dependiendo de la fuente de suministro (agua de lluvia, aguas superficiales, agua de mar y/o aguas del subsuelo) y del uso industrial a que sea destinada.

En términos generales podemos considerar que el agua de enfriamiento debe reunir las siguientes especificaciones:

1. No debe ser corrosiva
2. No debe formar incrustaciones
3. No debe causar taponamientos, ni depósitos orgánicos y/o inorgánicos en el equipo.

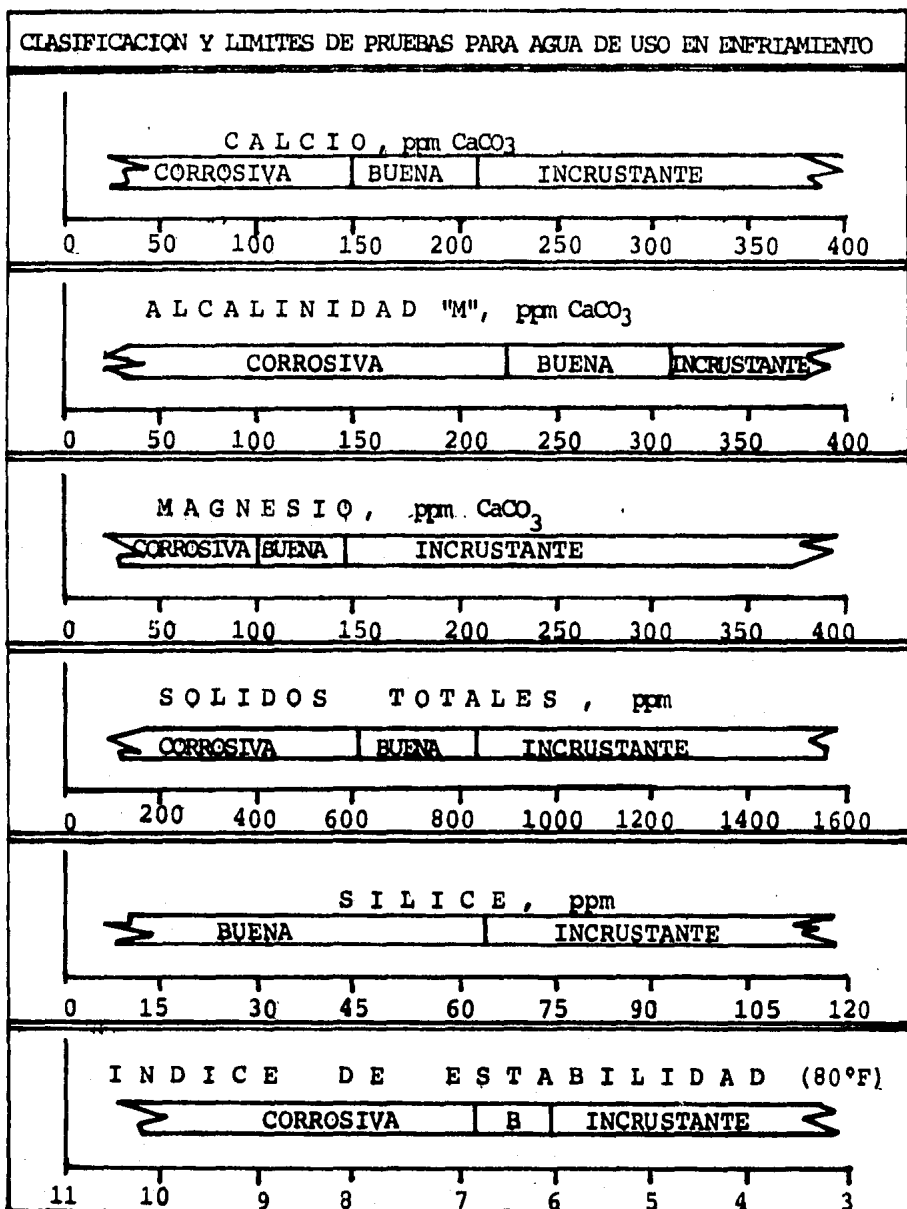
Para evaluar si el agua que se emplea para enfriamiento cumplirá con las especificaciones requeridas, se somete a una caracterización físico-química y biológica que permitirá dicha evaluación.

En la siguiente tabla se enlistan las clasificaciones y algunos



límites de pruebas para agua de uso en enfriamiento. (Fig. 6).

Fig. 6



## Sistemas de Enfriamiento.

Los sistemas de enfriamiento se clasifican en:

- Sistemas de Enfriamiento de un paso.

Se emplean en lugares donde el agua está disponible en gran des cantidades y que requiere de poco o nulo tratamiento, - pues una vez empleado, se envía al drenaje.

- Sistema de Enfriamiento de Recirculación Abierta.

Este sistema se realiza en localidades donde el agua no está disponible en grandes cantidades y consiste fundamentalmente en circular el agua a través de una torre de enfriamiento y de aquí al equipo que va a ser enfriado y recirculado nuevamente a la torre. Este sistema es el de uso industrial más común.

- Sistema de Enfriamiento de Recirculación Cerrada.

La recirculación cerrada fundamentalmente se utiliza para - el enfriamiento de máquinas Diesel o de combustión interna, donde el agua que enfría este equipo circula a través de un cambiador de calor enfriado por aire o por agua, constitu-

yendo un circuito cerrado.

Principios en los que se Basa la Operación de una Torre de Enfriamiento.

Cuando nos mojamos las manos con agua, habremos notado que sentimos frío en ellas y si las movemos la sensación aumenta, también aumenta si se emplea un líquido más volátil como el alcohol o gasolina. Esto se debe a que no todas las moléculas tienen la misma velocidad de desplazamiento, las de velocidad mayor tienden a pasar al estado gaseoso a costa de la energía de las otras moléculas, disminuyendo, en este caso, la temperatura de las manos, - - quienes a su vez ceden el calor necesario para la evaporación de las moléculas de agua. Este calor recibe el nombre de calor latente de evaporación,

Basado en lo anterior, operan las torres de enfriamiento en las cuales cae agua y a contra corriente (de abajo hacia arriba) fluye el aire.

Clasificación de las Torres de Enfriamiento.

Torres de Enfriamiento de Tiro Mecánico (Forzado o Inducido).

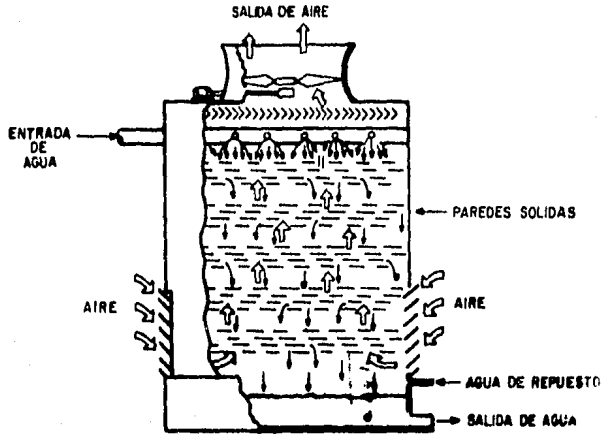
(Fig. 7).

Este tipo de torre de enfriamiento es el empleado en la Refinería en donde se realiza el estudio, cuya capacidad es de 10,000 gal/mín. por celda.

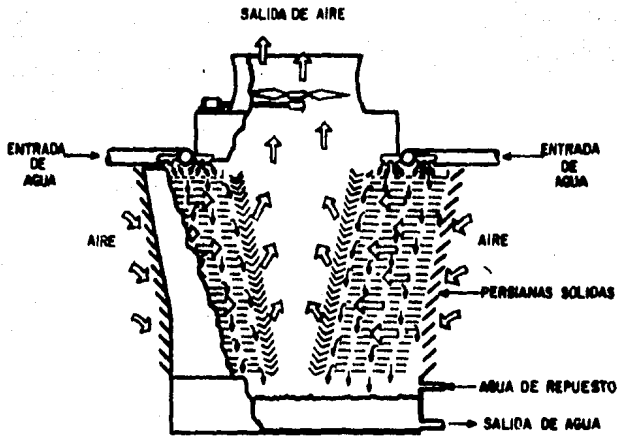
Torres de Enfriamiento con Tiro Natural (Fig. 9).

Torres de Enfriamiento Atmosféricas (Fig. 8).

FIG. 7. TORRES DE ENFRIAMIENTO DE TIPO MECANICO



7A. CONTRACORRIENTE



7B. FLUJO CRUZADO

FIG. 8. TORRE DE ENFRIAMIENTO ATMOSFERICA

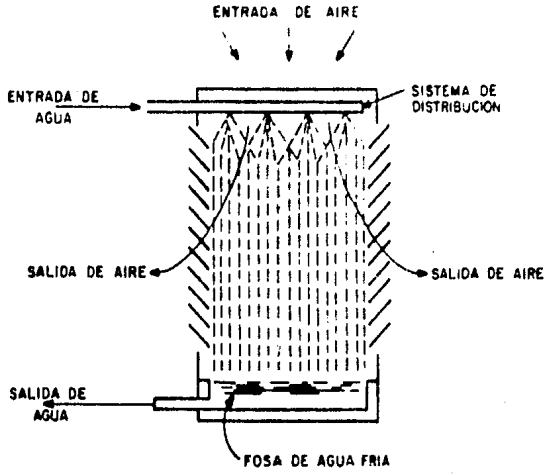
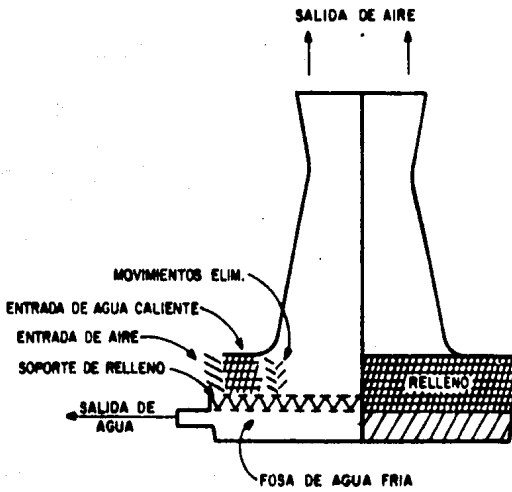


FIG. 9. TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO NATURAL



## C A P I T U L O     I I I

### PARTE EXPERIMENTAL

El desarrollo experimental consistió básicamente de dos aspectos:

1. Obtención de Muestras
2. Determinaciones Analíticas.

#### OBTENCION DE MUESTRAS:

Las aguas residuales de la Refinería de Cadereyta se dividieron para su estudio en cinco grupos que fueron:

Grupo 1, Purga de las torres de enfriamiento.

Grupo 2, Efluentes de la sección de tratamiento de aguas de la Planta Catalítica,

Grupo 3, Efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Amargas (MEROX )

Grupo 4, Efluentes de las plantas combinadas,

Grupo 5. Descarga al Río Ayancual.

En los dos periodos de muestreo (21 y 22 de febrero y 23 y 24 de marzo de 1983), se obtuvieron un total de 352 muestras de agua, integradas de la siguiente manera: 48 muestras de las purgas de las torres de enfriamiento denominadas CT-201T, CT-601 y CT-1401; 32 muestras de la sección de tratamiento para aguas de la Planta Catalítica; 32 muestras de la planta de Tratamiento de

aguas amargas (MEROX); 64 muestras de las plantas combinadas I y II; 76 muestras provenientes de los diferentes equipos para tratamiento de efluentes que existen en la Refinería.

Asimismo, se realizaron 1362 análisis.

DETERMINACIONES ANALITICAS:

El análisis de muestras se efectuó en dos etapas: la primera - consistió en realizar "in situ" los análisis que por su naturaleza requerían ser efectuados en el lugar y momento del muestreo así como la preservación de las muestras para su caracterización posterior en el laboratorio.

PRIMERA ETAPA:

Los análisis efectuados "in situ" fueron:

PARAMETRO	METODO
Temperatura	DGN-AA-7-1973 (4)
pH	DGN-AA-8-1973 (4)
Oxígeno Disuelto	APHA-218A (5)
Sulfuros	APHA-228A (5)

La descripción de estos métodos analíticos se hará en la segunda etapa.

Preservación de las Muestras:

PARAMETROS	CONDICION ESTABILIZADORA
Alcalinidades	Refrigeración a 4°C
Calcio	Recipiente lleno
Cloruros	No necesita

PARAMETROS	CONDICION ESTABILIZADORA
Cobre	5.5 ml HNO <sub>3</sub> /litro
DBO	Refrigeración a 4°C
DQO	Refrigeración a 4°C
Dureza Total	Recipiente lleno
Fenoles	Refrigeración a 4°C, 1.5g de CuSO <sub>4</sub> /litro más H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> a pH < 4
Fierro total	Refrigeración a 4°C
Grasas y Aceites	Refrigeración a 4°C, acidificar a pH = 1
Magnesio	No necesita
Nitrógeno amoniacal	0.8ml H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> conc/litro
Nitrógeno de Nitratos	0.8ml H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> conc/litro
Nitrógeno de Nitritos	0.8ml H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> conc/litro
Plomo	5.5ml HNO <sub>3</sub> /litro
Potasio	No necesita
Silice soluble	Recipiente de plástico
Sodio	No necesita
Sólidos Totales	No necesita
Sólidos disueltos	No necesita
Sólidos Sedimentables	Recipiente en movimiento
Sólidos Suspendidos	Recipiente en movimiento
Sulfatos	Refrigeración a 4°C o 2ml/litro de formaldehído
Sulfuros	2ml de acetato de cinc/litro



SEGUNDA ETAPA.

Los análisis que se efectuaron en los laboratorios del I.M.P. en la Cd. de México, fueron los siguientes:

A N A L I S I S	M E T O D O
Alcalinidad, F	APHA 102 (5)
Alcalinidad, A.M.	APHA 102 (5)
Bicarbonatos	APHA 102 (5)
Hidróxicos	APHA 102 (5)
Carbonatos	APHA 102 (5)
Cloruros	APHA 112-A (5)
Sulfatos	APHA 156-C(5)
Dureza Total	APHA 122-B (5)
Sflice Soluble	APHA 151-C (5)
Sólidos Totales	APHA 224-A (5)
Sólidos Disueltos	APHA 224-E (5)
Sólidos Suspendidos	APHA 224-C (5)
Nitrogeno Amoniacal	APHA 132 (5)
Nitrogeno de Nitritos	APHA 134 (5)
Nitrógeno de Nitratos	APHA 133-A (5)
Fenoles	APHA 222-D (5)
Grasas y Aceites	APHA 137 (5)
Demanda Bioquímica de Oxígeno	APHA 219 (5)
Demanda Química de Oxígeno	APHA 220 (5)
Calcio	Absorción Atómica
Magnesio	Absorción Atómica
Sodio	Absorción Atómica
Potasio	Absorción Atómica

Plomo	Absorción Atómica
Fierro	Absorción Atómica
Cobre	Absorción Atómica
Cromo	Absorción Atómica

#### BREVE DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA EMPLEADA EN LAS DOS ETAPAS.

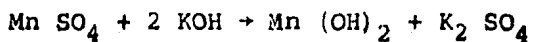
##### pH.

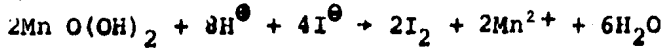
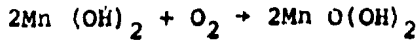
Debido a que el pH es una medida de la acidez y/o de la alcalinidad, su determinación en agua constituye una valiosa ayuda para poder prevenir la formación de incrustaciones o corrosión de - - equipo que la contenga.

El pH del agua puede determinarse electrométicamente mediante el potenciómetro o en forma colorimétrica. En el presente estudio, la medición del potencial hidrógeno se realizó con potenciómetro de campo, calibrando con solución amortiguadora de pH = 4 y pH = 10.

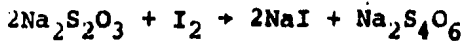
##### Oxígeno Disuelto.

El método empleado está basado en la técnica de Winkler en la que el hidróxido manganoso  $Mn(OH)_2$ , recientemente precipitado, se combina rápidamente con el oxígeno produciendo un óxido básico - de carácter oxidante que en medio ácido es capaz de poner en libertad el yodo cuantitativamente cuando es adicionado un yoduro alcalino. Las reacciones que ocurren son las siguientes:





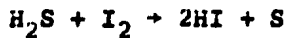
El yodo que se pone en libertad se titula con una solución valora  
rada de tiosulfato de sodio.



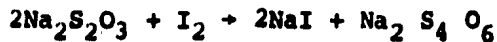
Acido Sulfhídrico y Sulfuros.

Para determinar el  $\text{H}_2\text{S}$ , la muestra debe analizarse tan rápida-  
mente como sea posible, de preferencia en el lugar de origen.

El procedimiento está basado en la oxidación del ácido sulfhídri-  
co ( $\text{H}_2\text{S}$ ) mediante una solución valorada de yodo.



Para este objeto se pone un exceso de solución de yodo para oxi-  
dar todo el ácido sulfhídrico, titulando ese exceso mediante una  
solución valorada de tiosulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) usando almi-  
dón soluble como indicador.



Alcalinidad.

La alcalinidad en agua representa su contenido de hidróxidos, carbonatos, bi-  
carbonatos y ocasionalmente de silicatos, fosfatos y boratos, su

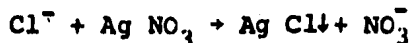
determinación se hace mediante la titulación de la muestra con soluciones valoradas de ácido clorhídrico o ácido sulfúrico; - empleando fenolftaleína (F) y anaranjado de metilo (M) como - indicadores cuyas coloraciones viran a pH de 8.3 y entre 3.3 y 4.4 respectivamente. Para simplificar los tratamientos y los cálculos, se acostumbra considerar que la alcalinidad la producen sólo los hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos.

#### Cloruros.

El ión cloruro es uno de los principales aniones de las aguas potables y de las aguas residuales.

Existen varios métodos para la determinación de cloruros, como por ejemplo: Mohr, Fajans, Volhard, Gravimétrico, Turbidimé-- trico, Potenciométrico, etc.

En este caso se empleó el método de Mohr cuyo fundamento se basa en la precipitación cuantitativa del cloruro de plata, formado por el ión cloruro de la muestra y el ión plata del reactivo; - en una solución neutra o ligeramente alcalina, antes que el - cromato de plata (de color rojo) que se forma con el cromato - del indicador. Según la siguiente reacción:



#### Sulfatos.

El ión sulfato se encuentra en casi todas las aguas naturales debido a la acción disolvente del agua en los minerales de los suelos y varía considerablemente según su localización.

El método turbidimétrico, está basado en la turbidez producida por el precipitado de sulfato de bario, que se forma al hacer reaccionar el ión sulfato con cloruro de bario en una solución acondicionadora que favorece esta formación. Bajo estas condiciones el sulfato de bario ( $BaSO_4$ ) que es proporcional al contenido de sulfato, se conserva como una suspensión fina y uniforme. La turbidez se determina en un fotocolorímetro, se lee a 415nm, y es proporcional al contenido de sulfatos.

El contenido de sulfatos se determina usando la curva de calibración que se construye con diluciones conocidas de una solución estándar de Sulfato de Sodio.

#### Dureza Total.

El ácido etilendiamino tetra acético y sus sales de sodio (EDTA) forma un quelato complejo soluble con los iones de calcio y magnesio del agua. Si se agrega una pequeña cantidad de un colorante, como el eriocromo negro T a una solución que contenga dichos iones y a un pH de  $10 \pm 0,1$  la solución varía de color vino al color azul.

#### Silice Soluble.

La presencia de silicio (Si) en el agua se expresa en los resultados analíticos como Silice ( $SiO_2$ ).

Se presenta en el agua en dos formas:

- I) Cristaloidal, que es soluble.
- II) Coloidal, que es insoluble y se presenta como una suspensión finamente-dividida.

La forma cristaloidal generalmente puede ser removida por coagulación y filtración.

La forma coloidal se dificulta extremadamente su remoción y es en esta forma como presenta mayores problemas por la formación de incrustaciones de silicatos de calcio y magnesio en agua que se usa en procesos de intercambio de calor y en sistemas circulantes de agua de enfriamiento.

El método empleado en este estudio, está basado en la formación del compuesto llamado ácido silicomolibdico y su reducción al complejo azul con la solución del ácido 1-amino -2 naftol -4-sulfónico. La presencia de ortofosfatos interfiere la determinación pues a un pH aproximado a 1.2 el molibdato de amonio reacciona con la sílice y también con cualquier fosfato presente para formar heteropoliácidos. Para eliminar el ácido fosfomolibdico que se forma, se agrega ácido oxálico que no afecta al ácido silicomolibdico que posteriormente se reducirá para obtener el complejo azul que es proporcional a la concentración de sílice en la muestra y es medida en un espectrofotómetro a 815nm.

La curva de calibración previamente trazada se realiza con una solución tipo de sílice.

#### Sólidos.

Se aplica el término de "sólido total" al material que queda en un recipiente después de la evaporación de una muestra de agua y de su secado subsecuente en estufa, a una temperatura definida. El sólido total incluye el sólido "no filtrable", esto es, aquella porción del sólido que se retiene por un filtro, así como -

el "sólido filtrable", aquella porción del sólido total que pasa a través del filtro.

Es muy común el uso de los términos "suspendido" y "disuelto" que corresponden respectivamente al sólido no filtrable y al filtrable. Sin embargo, estas últimas son designaciones más precisas, puesto que los sólidos son aún entidades no muy bien definidas, cuya separación depende de diversas variables algunas de las cuales se pueden controlar sólo con dificultad. Los principales factores que se involucran en este aspecto son la naturaleza química y física del material en suspensión, el tamaño de diámetro del poro del filtro.

Sería demasiado complejo para uso práctico un método que se formulara buscando controlar todas las variables a la filtración y por lo tanto, se debe reconocer que las determinaciones de residuo no quedan sujetas al criterio usual de exactitud.

#### **Sólido Total.**

La muestra se evapora en una cápsula o vaso de precipitados a peso consstante en un evaporador eléctrico y se seca a peso constante a 103° 105°C. El aumento en peso sobre el de la cápsula o vaso vacío representa el residuo total.

#### **Sólido Filtrable.**

La muestra se filtra y el filtrado se evapora en una cápsula o vaso de precipitado a peso constante, en evaporador eléctrico. El residuo remanente de la evaporación se seca en estufa, bien sea a 103° 105°C. El aumento en peso sobre el de la cápsula o el vaso vacío según sea el caso, representa el residuo filtrable

e incluye materiales líquidos o sólidos que en solución o en otra forma pasan a través del filtro y no se volatilizan durante el proceso de secado.

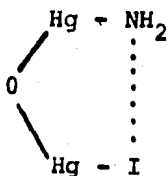
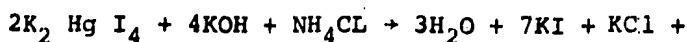
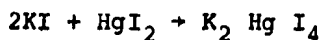
Residuo No filtrable.

Se filtra la muestra y el residuo no filtrable se determina bien sea directamente o por diferencia entre el residuo total y el residuo filtrable. En determinación directa, una parte alícuota a propiada de la muestra se pasa a través de una membrana millipore poro 0.45  $\mu$  previamente secada en estufa a 103° - 105°C. El aumento en peso sobre la membrana sola representa el residuo no filtrable.

Nitrógeno Amoniacal.

Por Método de Nessler. El reactivo de Nessler es un yoduro potasio mercurico complejo que forma con el amoniaco (NH<sub>3</sub>) un yoduro amonio mercurico hidratado cuya coloración varía desde el amarillo hasta el café, que es directamente proporcional a la cantidad de amoniaco presente.

Las reacciones que tienen lugar son las siguientes:



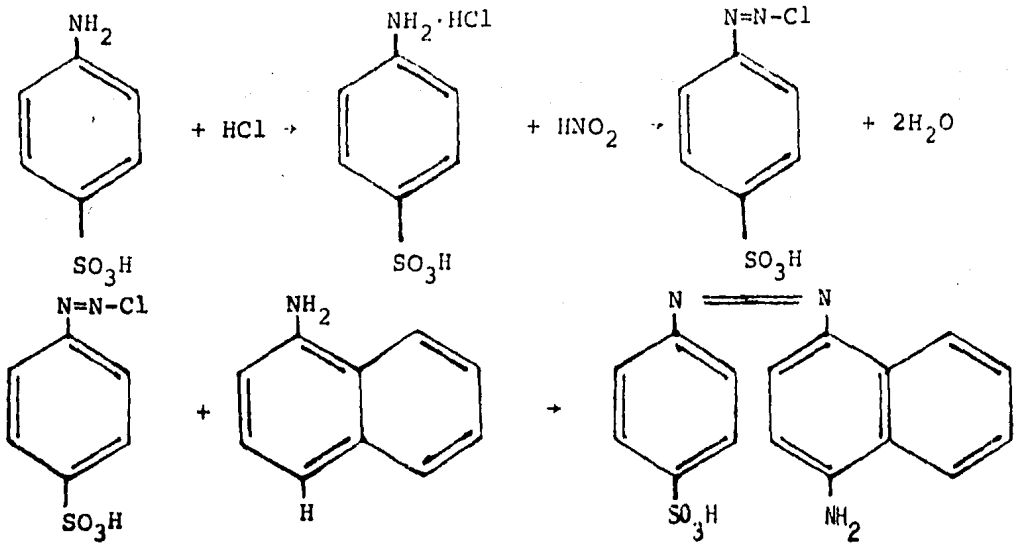


Con muestras que contienen un alto contenido de amoníaco, la muestra se nessleriza directamente, en estos casos, el magnesio, calcio, fierro y la turbidez pueden interferir en la determinación - lo que también sucede en las muestras destiladas cuando el agua original contiene ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) o sulfuros cuya presencia produce un enturbiamiento, por lo que se usa un tratamiento con sulfato de zinc e hidróxido de sodio para precipitarlos; el precipitado elimina los sólidos suspendidos y algunas veces la materia coloidal. La adición de EDTA o de sal de Rochella evita la precipitación de los iones residuales de calcio y magnesio, en presencia del reactivo alcalino de Nessler.

#### Nitritos (Nitrógeno de)

La cuantificación de nitritos en aguas debe efectuarse inmediatamente después de haber obtenido la muestra para así obtener datos confiables, ya que estos nitritos mediante la acción química o microbiológica, se oxidan hasta nitratos. Su determinación colorimétrica se basa en la formación de un compuesto de diazonio en medio fuertemente ácido, de color rojizo.

Químicamente el ácido sulfanílico en medio ácido sufre una diazotación con los iones nitrito y el compuesto resultante se copula con la alfa naftilamina produciéndose un compuesto de color. Las reacciones que tienen lugar son las siguientes:



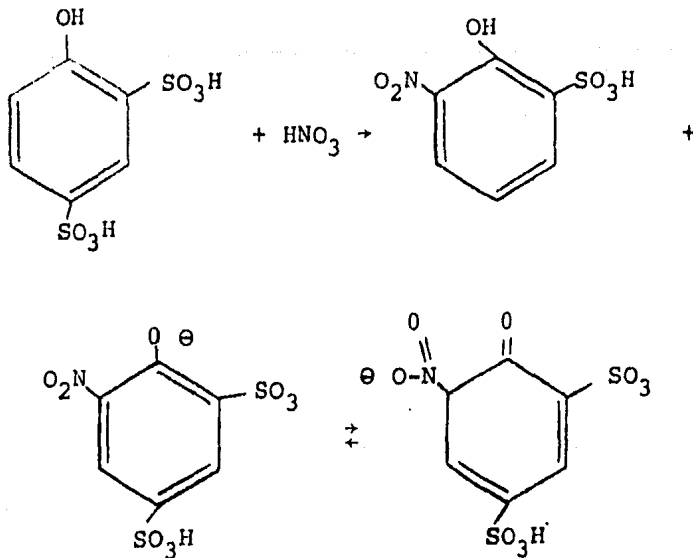
Si la muestra de agua tiene alguna coloración, debe agitarse con una suspensión de hidróxido de aluminio ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) para decolorarla y se filtra.

El color desarrollado en la muestra después de 10 minutos pero antes de 30, se lee en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 520nm. y el dato se interpola en la curva tipo que previamente se ha hecho de igual manera.

#### Nitratos (Nitrógeno de)

El método empleado está basado en la formación de un nitro derivado de color amarillo que se obtiene al combinar el ácido fenol disulfónico con los nitratos en medio ácido y después en medio alcalino; las reacciones que tienen lugar son las siguientes:

Nitratos



El color amarillo que se produce por la reacción entre el nitrato y el ácido fenoldisulfónico, obedece la ley de Beer en concentraciones hasta de 12 mg/l de N, a una longitud de onda de 480nm; y a una longitud de onda de 410 nm, que es el punto máximo de absorción, se pueden verificar determinaciones hasta de 2 Mg/l.

### Fenoles.

En desechos industriales, como en aguas potables, los compuestos fenólicos, que se mencionan como fenoles, se definen como aquellos derivados oxhidrónicos del benceno o de su núcleo condensado.

La presencia de estos compuestos y de sus derivados clorados en las aguas, puede tener un efecto letal sobre los peces y sobre la calidad del agua.

La determinación de fenoles en aguas contaminadas y en desechos industriales, presenta dificultades mucho mayores que en aguas potables, por la presencia de compuestos inorgánicos y orgánicos que interfieren con los reactivos que se emplean para los métodos colo

rimétricos. Muchas de estas interferencias se eliminan o se reducen al mínimo, efectuando una destilación de la muestra con sulfato de cobre en medio ácido con ácido fosfórico.

Así los fenoles purificados, excepto el paracrésol y fenoles similares parasustituídos; reaccionan con la 4-aminoantipirina a un pH de  $10.0 \pm 0.2$  en presencia de ferricianuro de potasio para formar una anilina de antipirina. La anilina que proporciona un color amarillo se mantiene en solución acuosa.

La coloración amarilla es proporcional a la concentración de fenoles y se cuantifica en un colorímetro a 510 nm. Se debe contar con una curva de calibración previamente trazada con la solución tipo de fenol con diluciones conocidas.

#### **Grasas y Aceites.**

Las grasas y aceites en las aguas residuales de las refineras, pueden encontrarse en emulsión o si se trata de las fracciones más ligeras del petróleo, en solución. La mayoría de los aceites pesados y grasas son insolubles en el agua, pero se pueden emulsionar o saponificar por los detergentes, álcalis y otras sustancias químicas.

Por lo anterior, las grasas y aceites emulsionadas o disueltas en las aguas residuales, se pueden extraer de las aguas por contacto íntimo con diversos disolventes orgánicos: éter de petróleo, cloroformo, tetracloruro de carbono, etc.

El extracto así obtenido se recoge en un vaso previamente puesto a peso constante, se evapora el disolvente manteniendo a  $70^{\circ}\text{C}$  la tem

peratura, se enfría en desecador por 30 minutos y se pesa. Por la diferencia en peso se calcula la cantidad de grasa y aceite contenida en la muestra.

#### Demanda Bioquímica de Oxígeno.

La DBO permite determinar el grado de contaminación de un agua, midiendo el oxígeno consumido por la acción biológica en una muestra incubada a 20°C durante 5 días.

La demanda de oxígeno de aguas de desecho industriales se debe a tres clases de compuestos:

- a) Compuestos orgánicos carbonosos, que se aprovechan como una fuente de nutrientes por los organismos aeróbicos.
- b) Compuestos nitrogenados oxidables que se derivan de los compuestos de nitrito, amoníaco y nitrógeno orgánico, que sirven de nutrientes a bacterias específicas.
- c) Ciertos compuestos químicos reductores (hierro ferroso, sulfuro y sulfuro), que reaccionan con el oxígeno molecularmente disuelto.

En las aguas de desecho industriales la DBO se determina colocando una parte alícuota de la muestra en frascos especiales para DBO y diluyendo ésta con agua de dilución que debe estar saturada de oxígeno (cuando menos 7 ppm), exenta de cloro residual u otras sustancias bactericidas y de ser necesario inoculada con aguas negras.

Las muestras y dos blancos con sólo agua de dilución se corren por duplicado para determinar el oxígeno disuelto inmediato en el primer juego y el segundo se incuba a 20°C durante cinco días, tiempo

después del cual se determina el oxígeno disuelto restante.

El método por el cual se determina el oxígeno disuelto es el mismo que ya se ha mencionado - Método de Winkler.

La diferencia de la concentración de oxígeno disuelto en la muestra inmediata y la incubada es proporcional a la cantidad de materia orgánica susceptible a la degradación biológica.

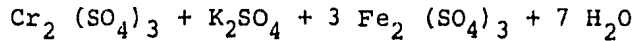
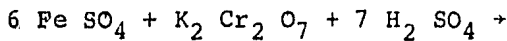
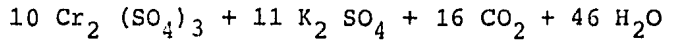
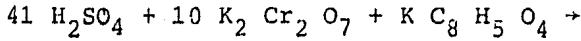
Demanda Química de Oxígeno.

La mayoría de compuestos orgánicos e inorgánicos oxidables presentes en el agua son oxidados por una solución valorada de dicromato de potasio en presencia de ácido sulfúrico utilizando sulfato de plata como catalizador y sulfato mercurico para eliminación del ión cloruro.

La muestra se somete a reflujo con cantidades conocidas de dicromato de potasio, ácido sulfúrico con sulfato de plata pues los compuestos de cadena abierta se oxidan con mayor efectividad si se agrega éste; teniendo cuidado de eliminar el ión cloruro con sulfato mercurico. El exceso de dicromato de potasio se titula con solución valorada de sulfato ferroso amoniacal, utilizando como indicador interno el complejo ortofenantrolina - ferroso (ferroína).

La cantidad de materia orgánica oxidable es proporcional al dicromato de potasio que se consume.

Reacciones:



Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Cromo, Plomo, Fierro y Cobre

El método analítico empleado para la determinación de estos metales fue mediante espectrometría de absorción atómica, el cual está basado en el hecho de que los elementos metálicos, en el estado basal, absorben luz radiante de la misma longitud de onda que emiten cuando son excitados. Cuando la radiación de un elemento excitado dado, se pasa a través de una flama que contenga átomos de ese elemento en el estado basal, la intensidad de la radiación transmitida disminuirá en proporción directa a la cantidad del elemento en estado basal presentes. Una lámpara de cátodo hueco, cuyo cátodo está fabricado del mismo elemento que se va a determinar suministra la radiación. Los átomos metálicos que se van a medir se colocan en el haz de radiación mediante la succión de la muestra dentro de una flama combustible oxidante. Un monocromador aísla la radiación característica de la lámpara de cátodo hueco y un aditamento fotosensible mide la radiación transmitida atenuada.

C A P I T U L O    I V

RESULTADOS

TABLAS DE RESULTADOS

En las Tablas I y II se resumen los resultados obtenidos de los análisis practicados a las muestras de aguas residuales colectadas durante las dos etapas de muestreo.



TABLA I. RESULTADOS ANALITICOS DEL PRIMER MUESTREO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA REFINERIA DE CADEREYTA, NUEVO LEON.

ANALISIS	UNIDADES	GRUPOS DE ESTUDIO																						
		PURGAS TORRES DE ENFRIAMIENTO		TRATAMIENTO AGUAS PLANTA CATALITICA		TRATAMIENTO AGUAS AMARGAS (MEROK)		PLANTAS COMBINADAS					PLANTA DESMIGNERALIZADORA	DRENAJES										
		NUMERO CONSECUTIVO DE MUESTRA (ANEXO A)																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
TEMPERATURA	°C	35	47	40	36	85	43	87	52	90	50	87	20	35	30	32	43	47	40	30	27	25	22	
pH		8,6	8,6	8,6	9,6	10,0	9,0	9,2	7,0	8,1	8,7	9,1	11,5	8,2	2,4	3,9	8,9	8,9	8,8	7,6	7,8	7,8	7,8	
OXIGENO DISUELTTO	ppm	3,8	4,1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	
SULFUROS	ppm	0	0	0	5394	1695	3560	1710	33	0,4	14	8	0	2	5	0,4	20	25	32	10	0,4	0	12	
ALCALINIDAD, F (CaCO <sub>3</sub> )	ppm	10	14	14	3620	7755	16	8	0	0	20	57	150	0	0	0	80	98	49	0	0	0	0	
ALCALINIDAD, A, MHCaCO <sub>3</sub>	ppm	227	253	316	7408	11535	78	41	67	268	96	102	260	302	0	0	212	298	263	133	153	165	174	
BICARBONATOS	ppm	251	274	351	204	0	55	30	82	327	67	0	0	368	0	0	65	124	202	162	187	202	212	
OXIDRILLOS	ppm	0	0	0	0	1352	0	0	0	0	0	4,0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CARBONATOS	ppm	12	17	17	4345	4535	20	10	0	0	24	54	131	0	0	0	96	118	59	0	0	0	0	
CLORUROS	ppm	45	55	100	-	-	10	25	10	85	0	5,0	52	25	-	-	1292	1320	1075	1060	1005	980	960	
SULFATOS	ppm	498	534	540	708	228	462	216	408	204	0	0	1094	174	252	228	564	348	510	798	798	798	798	
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	ppm	742	824	966	-	33	464	374	480	509	30	25	275	411	1343	1435	689	757	643	858	919	667	600	
SLICE SOLUBLE (SiO <sub>2</sub> )	ppm	58	66	10	57	32	66	79	121	54	21	6,0	31	79	107	82	109	32	32	57	125	109	109	
SOLIDOS TOTALES	ppm	1324	1400	1655	1226	914	747	700	933	1063	337	311	2046	928	1338	5674	4399	3950	3991	4560	4030	4347	4294	
SOLIDOS DISUELTOS	ppm	1298	1372	1633	1214	910	719	684	885	947	321	291	1931	862	742	5458	3583	3834	3869	4496	3930	4297	4224	
SOLIDOS SUSPENDIDOS	ppm	26	28	22	12	4	28	16	48	116	16	20	115	66	596	216	816	116	122	64	100	50	70	
NITROGENO AMONIAICAL	ppm	3	2	0,5	3800	3500	38	7	6,0	6,0	105	80	50	16	48	54	310	215	110	101	162	119	39	
NITROGENO DE NITROS	ppm	1	8	3	8	0,6	0,7	0,5	2,0	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,4	0,6	0,7	0,4	0,7	0,7	0,3	0,5	0,3	
NITROGENO DE NITRATO	ppm	25	35	10	25	25	15	35	25	30	50	80	60	15	17	20	34	24	14	6,0	10	6,0	10	
FENOLES	ppm	0	0	0	0	0	12	6	8	0	11	12	0	0	0	0	8,0	6,0	0	0	0	0	0	
GRASAS Y ACEITES	ppm	12	14	35	66	32	20	35	23	25	27	10	20	20	12	112	543707	70	125	63	41	22	48	
D. B. O.	ppm	45	43	68	-	-	469	432	79	38	69	37	46	53	32	73	261	108	123	77	27	61	323	
D. Q. O.	ppm	153	145	210	18473	5783	1926	2010	211	121	106	80	169	161	84	263	5483*	214	723	522	56	121	761	
CALCIO	ppm	253	295	348	-	-	164	140	142	187	7,0	7,0	97	146	465	505	192	232	207	285	274	244	225	
MAGNESIO	ppm	26	21	23	-	-	13	6	29	10	3,0	2,0	6	11	44	42	51	43	30	35	57	14	9,0	
SODIO	ppm	108	53	56	-	-	34	26	37	33	25	34	526	31	-	-	1100	920	840	815	780	905	-	
POTASIO	ppm	16	13	14	-	-	11	9	12	8,0	7,0	6,0	5	6,0	14	13	71	71	49	46	105	64	101	
PLOMO	ppm	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	< 0,1
FIERRO	ppm	1,0	0,5	0,5	2,0	1,0	0,4	0,3	2,0	22	1,0	0,6	0,99	1,0	8,0	8,0	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	0,7	
COBRE	ppm	0,1	0,1	0,1	2,0	0,5	0,1	0,02	0,05	1,0	0,1	< 0,02	0,03	0,5	0,1	0,1	1,0	1,0	1,0	0,1	0,8	0,05	0,07	0,1
CROMO	ppm	0,02	0,04	0,07	0,4	0,05	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,03	< 0,02	0,04	0,02	0,04	0,06	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,06

OBSERVACIONES:

(-) DETERMINACION NO REALIZADA

(\*) DETERMINACION REALIZADA SOLO EN LA FASE ACUOSA

TABLA II. RESULTADOS ANALITICOS DEL SEGUNDO MUESTREO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA REFINERIA DE CADEREYTA, NUEVO LEON.

ANALISIS	UNDADES	GRUPOS DE ESTUDIO																					
		PURGAS TORRES DE ENFRIAMIENTO		TRATAMIENTO AGUAS PLANTA CATALITICA		TRATAMIENTO AGUAS AMARGAS (MEROX)		PLANTAS COMBINADAS				PLANTA DESAMERIALIZADORA		DRENAJES									
		NUMERO CONSECUTIVO DE MUESTRA (ANEXO A)																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
TEMPERATURA	°C	34	49	40	51	92	43	87	58	87	52	76	19	36	36	35	50	46	41	33	29	28	25
pH		7.9	7.9	7.4	9.2	9.8	9	9.2	7.8	9.7	8.9	8.8	11.5	8.1	2.3	6.5	8.9	9.1	8.8	8.8	7.9	7.7	7.7
OXIGENO DISUELTTO	ppm	6	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	3.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.5
SULFUROS	ppm	0	0	0	1081	1283	1418	749	33	19	26	24	0	2	5	26	318	323	99	28	31	18	0
ALCALINIDAD, F. (CaCO <sub>3</sub> )	ppm	0	0	0	-	-	16	8	0	45	74	37	152	0	0	0	266	292	119	48	0	0	0
ALCALINIDAD, A.M.(CaCO <sub>3</sub> )	ppm	158	152	155	-	-	78	41	61	63	147	89	262	308	0	99	991	910	458	270	198	181	206
BICARBONATOS	ppm	193	185	243	-	-	55	30	75	0	0	19	0	375	0	121	560	398	269	212	242	221	252
OXHIDRILLOS	ppm	0	0	0	-	-	0	0	0	9	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CARBONATOS	ppm	0	0	0	-	-	20	10	0	22	88	44	132	0	0	0	319	350	143	58	0	0	0
CLORUROS	ppm	151	145	192	-	-	10	25	38	18	33	37	53	76	23	213	231	-	134	869	684	764	863
SULFATOS	ppm	620	720	645	0	0	462	216	975	620	165	5	1095	390	1350	1980	1500	-	1830	1635	2754	2850	1935
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	ppm	1048	1030	1127	16	16	464	374	700	685	18	13	275	518	1059	1710	841	803	938	859	853	824	859
SILICE SOLUBLE (SiO <sub>2</sub> )	ppm	62	50	70	242	-	66	79	21	46	7	29	31	21	16	64	77	72	63	47	35	31	52
SOLIDOS TOTALES	ppm	1903	1972	1962	290	162	727	359	1561	1079	411	288	2046	1114	2254	5032	4296	4546	4600	4441	5521	5945	5042
SOLIDOS DISUELTOS	ppm	1777	1946	1908	274	146	699	343	1541	1055	395	276	1932	1176	2144	4582	4106	4356	4500	4349	5427	5881	4998
SOLIDOS SUSPENDIDOS	ppm	126	26	54	16	16	28	16	20	24	16	12	114	38	110	450	190	190	100	92	94	64	44
NITROGENO AMONIAICAL	ppm	5	5	3	2940	2968	38	7	14	22	195	100	50	14	60	53	250	190	175	120	161	125	0.8
NITROGENO DE NITRITOS	ppm	0.3	0.5	0.5	1.75	0.5	0.7	0.5	0.7	0.8	0.7	0.5	0.6	0.5	0.8	0.7	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.5	0.4
NITROGENO DE NITRATOS	ppm	43	32	26	31	31	15	3	2.0	0.5	0.6	0.5	0.6	10	20	15	38	20	11	3.0	12	4.0	15
FENOLES	ppm	0	0	0	0	17	12	6	11	10	13	13	0	0	0	0	11	0	7	0	0	0	0
GRASAS Y ACEITES	ppm	1.5	51	50	47	50	20	35	35	18	2619	78	24	130	7648	398	8707	1816	251	130	69	45	147
D. B. O.	ppm	382	214	69	384	396	410	561	123	62	534	123	68	101	41	268	238	273	225	116	214	69	86
D. Q. O.	ppm	991	382	147	7850	4000	1926	2010	228	147	3682*	435	160	452	93*	720*	796*	2527*	1121*	385*	335	234	284
CALCIO	ppm	373	373	388	5	6	164	140	249	231	5	4	98	170	383	611	284	275	338	292	292	281	293
MAGNESIO	ppm	27	23	38	0.5	0.1	13	6	18	26	1	7	22	24	44	31	27	22	31	30	29	30	30
SODIO	ppm	176	260	140	4	3	34	26	180	65	150	58	527	134	432	533	762	117	790	937	1200	1326	980
POTASIO	ppm	10	6	7	0.5	0.7	11	9	5.5	5.7	4	5	6	8	12	16	301	347	335	315	450	410	362
PLOMO	ppm	0.07	0.08	0.06	0.02	0.02	< 0.1	< 0.1	0.06	0.06	< 0.05	0.015	0.02	0.05	0.11	0.12	0.16	0.16	0.17	0.13	0.1	0.11	0.1
FIERRO	ppm	6.9	0.73	0.22	0.24	0.67	0.4	0.3	0.23	0.39	0.65	0.17	0.99	0.59	8.95	3.83	2.09	2.15	2.78	0.24	0.65	0.57	0.217
COBRE	ppm	0.2	0.04	0.07	0.37	0.32	0.1	0.02	0.04	0.05	0.02	0.02	0.03	0.03	0.05	0.05	0.186	0.15	0.01	0.05	0.05	0.04	0.04
CROMO	ppm	0.02	0.01	0.2	0.01	0.02	< 0.02	< 0.02	0.02	0.01	< 0.02	0.02	0.02	< 0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03

OBSERVACIONES:

(-) DETERMINACION NO REALIZADA

(\*) DETERMINACION REALIZADA SOLO EN LA FASE ACUOSA

### INTERPRETACION DE RESULTADOS:

De acuerdo con el objetivo establecido al inicio de este estudio y analizando los resultados obtenidos en los dos muestreos efectuados en la Refinería de Cadereyta, N.L., se propone la segregación de dos de las corrientes estudiadas, para que no se mezclen con las aguas residuales de otros equipos de la mencionada Refinería; y puedan ser tratadas individualmente, las dos corrientes son:

1. Purgas de las torres de enfriamiento CT-201-T, CT-1601 y CT 1401.
2. Efluente de la Planta Desmineralizadora.

La elección de estas aguas residuales se debe a dos razones importantes:

- 1) Los materiales contaminantes de estas aguas son pocos y de fácil remoción y
- 2) El volumen que representan con respecto al total del agua residual en la Refinería es del 57% y 23.8% respectivamente, lo que representa un total del 80% (170 l/seg); estos datos fueron calculados de acuerdo al Diagrama I (Anexo B).

Las otras corrientes acuosas estudiadas, contienen contaminantes que requerirían para su eliminación de sistemas de tratamiento sofisticado que no se justifican económicamente.

Los principales contaminantes encontrados en las aguas residuales seleccionadas que deben ser eliminados por medio de un sistema de tratamiento adecuado son: Calcio y magnesio (dureza). Como se -

puede observar, en la Tabla de resultados No. II, se encontraron valores máximos de 388 ppm de calcio y 38 ppm de magnesio y consecuentemente una dureza total de 1,127 ppm como carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

Como ya se mencionó, las aguas residuales de otros equipos así como el efluente final de la Refinería, tuvieron un alto contenido de: sólidos disueltos, nitrógeno amoniacal, ácido sulfhídrico, sulfuros, sulfatos, cloruros y grasas y aceites; lo que impide tratarlas por un medio simple y económico.

Por lo anterior, se proponen las siguientes alternativas de tratamiento:

- I) Segregación de las purgas de las torres de enfriamiento y tratamiento de las mismas por medio del sistema Cal-carbonato en frío.
- II) Segregación de las purgas de las torres de enfriamiento y del agua de lavados en la Planta Desmineralizadora y finalmente tratamiento de esa mezcla por el sistema de Cal-carbonato en frío.

El tratamiento con Cal-carbonato en frío se propone porque además de ser un sistema de tratamiento económico, reduce la dureza (calcio y magnesio).

El agua tratada posteriormente sería mezclada con agua de pozos, lo que permitiría utilizar esta mezcla final como agua de suministro a las torres de enfriamiento, además de alcanzar el volumen requerido para ello. (Ver Anexo B, Diagrama I).

## C A P I T U L O V.

### TRATAMIENTO PROPUESTO

#### TRATAMIENTO CAL-CARBONATO EN FRIO.

Las aguas naturales generalmente contienen sales de calcio y magnesio en cantidades apreciables y al introducirse a las calderas, durante su evaporación, forman residuos o depósitos muy adherentes llamados incrustaciones y para evitarlos deben eliminarse los iones calcio y magnesio.

Debe aclararse que también otros iones producen dureza como el estroncio, bario, aluminio, fierro, magnesio, etc., pero éstos no son de importancia.

Este tratamiento tiene por objeto eliminar la dureza y reducir al mínimo: la formación de incrustaciones y de lodos en el interior de las calderas, el depósito de carbonato de calcio en los cambiadores de calor y en los sistemas de enfriamiento y en general para eliminar la dureza en todos los procesos industriales, suministro de aguas potables, aguas municipales, aguas de alimentación de calderas, etc. Ocasionalmente se eliminan también el fierro, el anhídrido carbónico libre y la turbidez.

El ablandamiento por el método de cal-carbonato o cal sodada consiste en precipitar todo el calcio y magnesio utilizando cal apagada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) y carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) o soda ash. El ión magnesio se elimina siempre como hidróxido de magnesio  $\text{Mg}(\text{OH})_2$

y el ión calcio como carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

En este procedimiento se debe emplear un coagulante pues los precipitados están finamente divididos y no se asientan rápidamente, por lo que no se eliminan por sedimentación. Los coagulantes forman un precipitado gelatinoso que tiene la propiedad de englobar los hidróxidos y carbonatos y en esta forma es fácil su sedimentación, disminuyendo los sólidos en suspensión, lo que facilita la posterior filtración.

El equipo utilizado puede ser: intermitente, continuo del tipo de sedimentación y continuo del tipo de lodos en contacto.

#### Equipo Intermitente.

Consiste en tanques verticales que se llenan con el agua por tratar, a los cuales se agregan los reactivos en suspensión, mezclando lentamente con agitadores de baja velocidad durante dos o tres horas; se deja en reposo toda la masa hasta lograr una sedimentación casi total posteriormente se decanta y se filtra.

#### Equipo Continuo del Tipo de Sedimentación.

Son unidades muy semejantes en su construcción a los tanques de coagulación y sedimentación. El agua cruda se mezcla continuamente con la cantidad necesaria de cal, carbonato de sodio y coagulante en un mezclador instantáneo del tipo de agitador mecánico de hélice colocado en la parte central. El agua que pasa por el agitador fluye hacia la sección de floculación en donde se agita la masa lentamente para incrementar el tamaño de las partículas; después pasa a la sección de sedimentación don-

de se conserva durante cuatro horas al cabo de las cuales se lo gra la precipitación. En la parte inferior se extraen los lodos sedimentados. Este procedimiento tiene la ventaja de que se adapta fácilmente a cualquier tipo de ablandamiento en frío y requiere un mínimo de mantenimiento y supervisión. (Fig. 10).

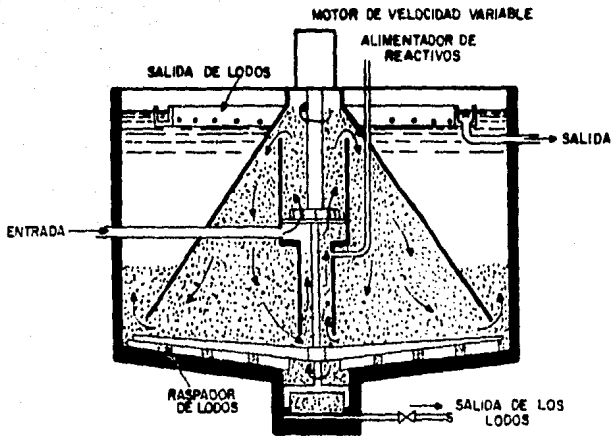


FIG. 10. DIAGRAMA DE UN EQUIPO DE TRATAMIENTO CONTINUO DE CAL CARBONATO EN FRIO.



Equipo Continuo del Tipo de Lodos en Contacto.

En estas unidades el agua cruda se mezcla con una pequeña cantidad de lodos (precipitados en operaciones anteriores), a continuación se agrega la cal, el carbonato de sodio y el coagulante, es decir, se pone una semilla cristalina en contacto con una solución sobresaturada, lo que origina que inmediatamente ocurra la precipitación.

La precipitación inicial del calcio y del magnesio ocurre simultáneamente a la adición de lodos; esto tiene por objeto alcanzar rápidamente el equilibrio y los sólidos formados no se separan individualmente como partículas finas sino alrededor del precipitado (lodos y reactivo) que se está introduciendo, de tal manera que se acelera la rapidez de separación del agua tratada y de los óxidos o hidróxidos insolubles estableciéndose una línea de separación entre la capa que contiene los lodos y el agua clarificada que en esta forma puede considerarse virtualmente filtrada a través del lecho de sus propios lodos. Se agita la masa hasta la separación total mediante un agitador de baja velocidad. Por este método se obtienen los mejores resultados en el tratamiento de la cal y el carbonato de sodio en frío.

En la figura se muestra un diagrama de estos equipos, cuyos tanques tienen una capacidad de 1 a 3 galones por pie cuadrado de área superficial por minuto, y que producen aguas con turbideces de 5 a 10 ppm. (Fig. 11).

En este tratamiento, la cal que se agrega es una suspensión conocida con el nombre de lechada de cal (hidróxido de calcio).

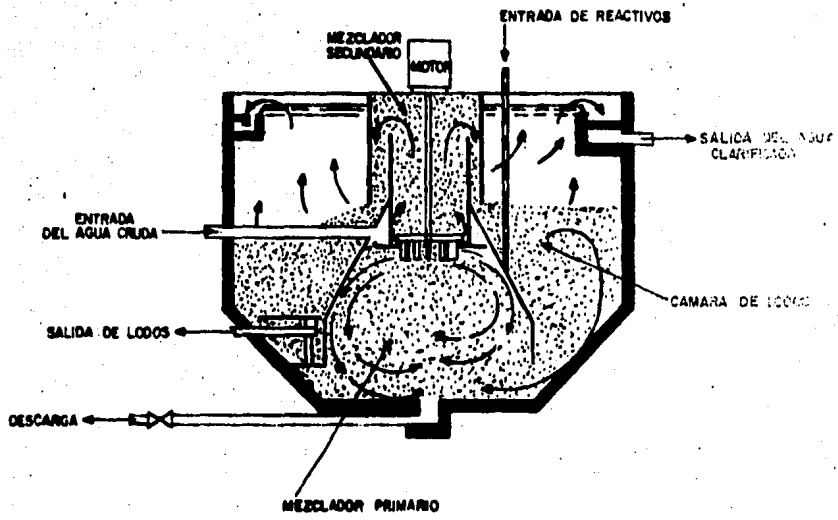
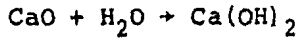


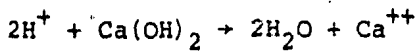
FIG. 11. DIAGRAMA DE UN EQUIPO DE TRATAMIENTO CONTINUO DEL TIPO DE LODOS EN CONTACTO.

Las reacciones que ocurren durante el tratamiento son:

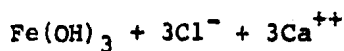
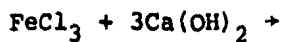
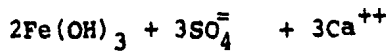
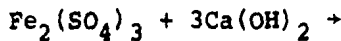
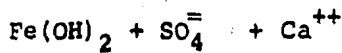
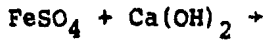
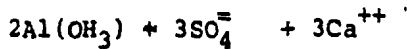
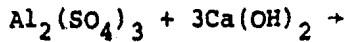
1. Reactivo.



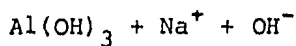
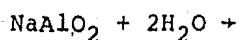
2. Neutralización. Si el agua es ácida, al agregar la lechada de cal, se neutraliza la acidez según la ecuación:



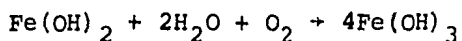
3. Coagulación. Los coagulantes ácidos necesitan una cantidad de cal para precipitarse:



Los coagulantes alcalinos no requieren cal para precipitarse - porque se hidrolizan:

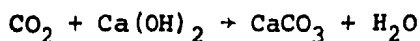


En el caso de que el agua por tratar contenga oxígeno disuelto, el hidróxido ferroso que se obtiene a partir del sulfato ferroso se oxida rápidamente según la ecuación:

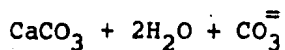
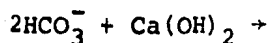


4. Eliminación del anhídrido carbónico libre ( $\text{CO}_2$ ).

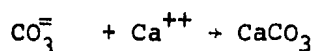
Precipita con la cal según la reacción:



5. Eliminación de los bicarbonatos. Se precipitan mediante la cal:

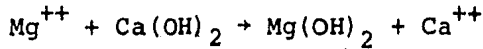


6. Precipitación de los carbonatos presentes (como carbonato de calcio):

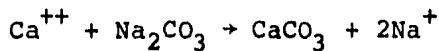


7. Precipitación del magnesio.

Los iones magnesio precipitan con la lechada de cal bajo la forma de hidróxido de magnesio:



8. Precipitación del calcio mediante el carbonato de sodio (soda ash):

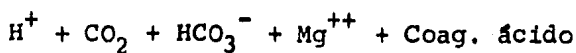


El calcio que se precipita es el formado en las ecuaciones (2), (3) y (7) más el calcio que no precipitó en la reacción (6).

De acuerdo con las ecuaciones anteriores se pueden establecer ciertas reglas para calcular la cantidad necesaria de cal y de carbonato de sodio que se requieren para el tratamiento.

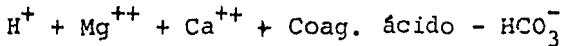
a) Cuando se utiliza un coagulante ácido como el  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  y  $\text{FeCl}_3$  la cantidad de cal requerida en equivalentes, será la suma de los equivalentes, de los ácidos minerales, del anhídrido carbónico, de los bicarbonatos y del ión magnesio presentes en el agua, más los equivalentes del coagulante según corresponde a las reacciones (2), (4), (5), (7) y (3).

CaO en equivalentes =



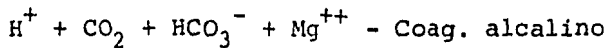
La cantidad de carbonato de sodio necesaria en equivalentes, será la suma de los equivalentes de los ácidos minerales, más el ión - calcio y magnesio, más los equivalentes del coagulante ácido menos los equivalentes del ión bicarbonato, según corresponde a las reacciones (2), (7), (8), (3) y (5).

$\text{Na}_2\text{CO}_3$  en equivalentes =



b) Cuando se utiliza un coagulante alcalino como el  $\text{NaAlO}_2$ , la cantidad de cal necesaria en equivalentes, es la suma de los equivalentes de los ácidos minerales, más el anhídrido carbónico, más los bicarbonatos, más el magnesio, menos los equivalentes de bases formadas por la hidrólisis del aluminato de sodio, según las ecuaciones (2), (4), (5), (7) y (3).

$\text{CaO}$  en equivalentes =



La cantidad necesaria de carbonato de sodio en equivalentes es la suma de los equivalentes de los ácidos minerales, más el magnesio más el calcio, menos los equivalentes de los bicarbonatos y menos los equivalentes del coagulante, de acuerdo con las ecuaciones (2), (7), (8), (5) y (3).

$\text{Na}_2\text{CO}_3$  en equivalentes =

$$\text{H}^+ + \text{Mg}^{++} + \text{Ca}^{++} - \text{HCO}_3^- - \text{Coag. alcalino}$$

Estos valores no consideran los excesos de reactivo que siempre son necesarios para asegurar la precipitación completa de los iones causantes de los residuos o incrustaciones en las calderas. (10)

El exceso de reactivo se calcula en la siguiente forma. Generalmente el agua tratada debe contener un exceso de 6.8 ppm de iones hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) y 21 ppm de iones carbonato ( $\text{CO}_3=$ ); el cálculo del exceso de reactivo se observa en la tabla siguiente

Análisis agua tratada	ppm	E.Q.	epm	CaO requerido en epm	$\text{Na}_2\text{CO}_3$ requerido en epm
$\text{OH}^-$	6.8	17	0.40	0.40	0.40
$\text{CO}_3=$	21	30	0.70	-	0.70
Total				0.40	1.10

Para calcular la cantidad de reactivo y el exceso, se hace la siguiente tabla de valores.

Análisis	ppm	Equivalente químico	epm	CaO requerido en epm	$\text{Na}_2\text{CO}_3$ requerido en epm
TOTAL					

En la primera columna se ponen los componentes originales del agua cruda ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , ...).

En la segunda se colocan los datos analíticos expresados en ppm.

La tercera columna indica los equivalentes químicos de cada componente que se obtiene dividiendo el peso molecular o el peso del ión entre su valencia.

La cuarta columna es la relación de ppm a su peso equivalente que se designa con el nombre de equivalente por millón (epm).

Finalmente la quinta y sexta columnas indican las cantidades de reactivos en epm, ya que de acuerdo con las leyes estequiométricas, las substancias se combinan entre sí en las relaciones de sus pesos equivalentes.

La cantidad de coagulante que debe emplearse para efectuar un tratamiento, no puede predecirse del análisis del agua, ni cual será el mejor coagulante para ser utilizado y el pH óptimo para efectuar el proceso. Sin embargo, el procedimiento para encontrarlo es realizar una prueba en el laboratorio con diferentes coagulantes a diferentes concentraciones y con variaciones de pH, pero como un dato promedio se recomienda utilizar 0.1 epm de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  siempre que el contenido de sílice sea menor de 10-20 ppm y en estos casos se ha encontrado que la sílice se reduce a la tercera parte de la cantidad original, ya que es adsorbida por los precipitados gelatinosos. El  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  se recomienda especialmente en aguas que contengan cantidades elevadas de oxígeno disuelto. El  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  y el alumbre sólo se emplean cuando el pH del agua -



tratada es de 5.7 a 7.5, produciendo sales solubles de aluminio. El aluminato de sodio ( $\text{NaAlO}_2$ ) es un coagulante que se utiliza sólo cuando el agua cruda es ligeramente alcalina y su uso está limitado a un intervalo de pH de 7 a 8.5. Como regla general, se puede establecer que la cantidad aproximada de coagulante se puede variar de 15 a 30 ppm y en promedio se utilizará de 0.1 a 0.2 epm, excepto cuando el contenido de sílice es superior a 40 ppm en cuyo caso se recomienda usar  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  o  $\text{NaAlO}_2$  en una proporción de 4 a 10 veces los epm de sílice, y ésta se reduce a la décima parte.

Nota: Por regla general conviene tomar un exceso de reactivo de 0.4 epm de  $\text{OH}^-$  y 0.70 epm de  $\text{CO}_3^{=}$ .

#### TABLAS DE CALCULO DE EXCESO DE REACTIVOS.

Para establecer la calidad del efluente tratado y la cantidad de reactivos para el tratamiento así como el exceso de los mismos, a continuación se presentan las Tablas III y IV que representan las dos alternativas propuestas.

Asimismo, en la Tabla V se muestran finalmente las características del agua de suministro a torres de enfriamiento según la alternativa de tratamiento anteriormente descrita. Para lograr esto, fue necesario caracterizar de manera físicoquímica una muestra del agua de pozos, obteniéndose los siguientes resultados:

ANALISIS

pH	7.3
Calcio	129.2 ppm
Magnesio	7.53 ppm
Oxhidrilos	0 ppm
Bicarbonatos	440.4 ppm
Carbonatos	0 ppm
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	354.0 ppm
Sodio	59.9 ppm
Cloruros	79.8 ppm
Sulfatos	9.98 ppm
Silice	28.2 ppm
Sólidos disueltos	727.0 ppm
Fierro	0.09 ppm

ppm = partes por millón

TABLA III. ALTERNATIVA No. 1 UTILIZANDO AGUA DE LAS PURGAS DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO  
TRATAMIENTO CAL-CARBONATO EN FRIO

ANALISIS	AGUA CRUDA ppm	AGUA TRATADA* ppm	E.Q.	AGUA CRUDA epm	AGUA TRA TADA epm	Por eli minar - en el - trat. - epm	CaO Requeri do epm	NaCO <sub>3</sub> Req. <sup>3</sup> - epm
Calcio	338.3	53.0	20	16.91	2.65	14.26		14.26
Magnesio	26.6	4.2	12	2.21	0.31	1.84	1.84	1.84
Bicarbonato	249.5	0	61	4.09	0	-	4.09	-4.09
FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	15.0	-	138.5	0.10	-	-	0.10	0.10
TOTAL							6.03	12.11

EXCESO REACTIVO

ANALISIS AGUA TRATADA	ppm	E.Q.	epm	CaO Req. epm	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> req. epm
Oxhidrilos	6.8	17	0.40	0.40	0.40
Carbonatos	21	30	0.70	-	0.70
TOTAL				0.40	1.10

La cantidad total de reactivo será: CaO epm = 6.03 + 0.40 = 6.43 epm  
Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> epm = 12.11 + 1.10 = 13.21 epm

Peso de reactivos en Kg por millón de Agua tratada: CaO = 6.43 x E.Q. CaO = 6.43 x 28 = 34.43 Kg  
Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = 13.21 x E.Q. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = 13.21 x 53 = 700.13 Kg  
FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O = 15Kg.

\* Valores establecidos con anterioridad para obtener agua adecuada (dureza total 150 ppm CaCO<sub>3</sub>).

TABLA IV. ALTERNATIVA No. 2 UTILIZANDO LA MEZCLA DE PURGAS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO Y AGUA DE LAVADOS DE LA PLANTA DESMINERALIZADORA

ANALISIS	AGUA CRUDA (MEZCLA) ppm	AGUA* TRATADA ppm	E.Q.	AGUA CRU DA epm	AGUA TRATADA epm	POR ELIMI NAR EN EL TRAT. epm	CaO Requerida epm	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> Req. epm
Calcio	267.4	53.0	20	13.37	2.65	10.72		10.72
Magnesio	20.9	4.2	12	1.74	0.35	1.39	1.39	1.39
Bicarbonatos	187.1	0	61	3.06	0	3.06	3.06	-3.06
FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	15.0	-	138.5	0.10	-	0.10	0.10	0.10
TOTAL							4.55	9.15
EXCESO REACTIVOS								
ANALISIS AGUA TRATADA	ppm	E.Q.	epm	CaO requerido epm	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> requerido epm			
Oxidrilos	6.8	17	0.40	0.40	0.40			
Carbonatos	21.0	30	0.70	-	0.70			
TOTAL				0.40	1.10			

La cantidad total de reactivos será: CaO epm = 4.55 + 0.40 = 4.95 epm  
Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> epm = 9.15 + 1.10 = 10.25 epm

Peso de reactivos en Kg por millón de Kg de agua tratada  
CaO = 4.95 x E.Q. CaO = 4.95 x 28 = 138.6 Kg  
Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = 10.25 x E.Q. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = 10.25 x 53 = 543.25 Kg  
FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O = 15 Kg

\* Valores establecidos con anterioridad para obtener agua adecuada (Dureza total 150 ppm CaCO<sub>3</sub>)

TABLA V. CARACTERISTICAS DEL AGUA DE SUMINISTRO A TORRES DE ENFRIAMIENTO SEGUN LAS ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO (EN CUANTO A DUREZA Y SILICE)

PARAMETROS	EFLUENTE ALTERNAT. No. 1	EFLUENTE ALTERNAT. No. 2	AGUA DE POZOS - CARGA A REF.	AGUA DE SUMI-NISTRO SEGUN ALTERNAT. No. 1 (a)	AGUA DE SUMI-NISTRO SEGUN ALTERNAT. No. 2 (b)
Dureza total ppm CaCO <sub>3</sub>	150	150	354	303	284.6
Silice, ppm	52.6	46.2	28.2	34.3	36.5
Efluente, l/seg.	-	-	-	100	136

a) 25% efluente alternativa No. 1 + 75% de agua de pozos =

b) 34% efluente alternativa No. 2 + 66% de agua de pozos

C A P I T U L O V

CONCLUSIONES

1. El gasto del agua de repuesto a las torres de enfriamiento es de 400 l/seg que constituye el 61.5% del agua total requerida por la Refinería de Cadereyta (Diagrama I), y cuyas especificaciones no son tan drásticas comparativamente con el agua de calderas; por lo que se consideró que el reuso del agua residual a tratar, debería tener la calidad necesaria para este fin.
2. El volumen de las purgas de las torres de enfriamiento más el volumen del agua de lavados de la planta desmineralizadora, - representan el 80.8% (170 l/seg) del total del agua residual (57% y 23.8%, respectivamente, Diagrama I); por lo que se propone la segregación de las corrientes, de manera tal que las purgas de las torres de enfriamiento y el agua de lavados de la planta desmineralizadora no se mezclen con las aguas residuales de otros equipos de la Refinería, ya que en estos últimos se encontraron contaminantes que requerirían de sistemas de tratamiento sofisticados que no se justifican económicamente. Tablas I y II.
3. Las alternativas de tratamiento propuestas son:
  - a) Segregación de las purgas de las torres de enfriamiento y tratamiento de las mismas por medio del sistema cal-carbonato en frío.

- b) Segregación de las purgas de las torres de enfriamiento y del agua de los lavados de la planta desmineralizadora y finalmente tratamiento de esa mezcla por el sistema de cal-carbonato en frío. El tratamiento de cal-carbonato se propone porque además de ser económico puede disminuir la dureza total, hasta los valores requeridos. Tablas III y IV.
4. Con la primera alternativa se obtendría aproximadamente 100 l/seg de agua tratada con 150 ppm de dureza total y 53 ppm de sílice. Esta corriente se debería de mezclar con 300 l/seg de agua de pozos, quedando la mezcla final con 303 ppm de dureza como  $\text{CaCO}_3$  y 34.3 ppm de sílice; lo que permitiría utilizar esta mezcla final como agua de suministro a las torres de enfriamiento. Tabla V.
5. Con la segunda alternativa, se podrían obtener aproximadamente 136 l/seg de agua tratada con 284.6 ppm de dureza como  $\text{CaCO}_3$  y 36.5 ppm de sílice. Este efluente se debería mezclar con 264 l/seg. de agua de pozos, obteniéndose una calidad final de agua con 284.6 ppm de dureza como  $\text{CaCO}_3$  y 36.5 ppm de sílice, lo que permitiría la utilización de esta agua en torres de enfriamiento. Tabla V.
6. No es conveniente tratar el agua de la descarga final de la Refinería, 210.4 l/seg, (muestra No. 22, Tablas III y IV), mediante el sistema de cal-carbonato en frío, por los siguientes motivos:

- a) Tiene un alto contenido de sólidos disueltos (mayor de 4,500 ppm, principalmente sodio, el cual no se elimina en este proceso.
- b) Alto contenido de nitrógeno amoniacal (125ppm) que propicia el crecimiento biológico en las torres de enfriamiento.
- c) Elevada concentración de ácido sulfhídrico (6.2 ppm), que ocasionaría ataque corrosivo en los sistemas de enfriamiento, ya que no se eliminaría este contaminante debido a los altos valores de pH a los que se opera el proceso de cal-carbonato.
- d) Alto contenido de sulfatos (947 ppm) lo cual se reflejaría como probable ataque al concreto de la pileta de la torre de enfriamiento y
- e) Alto contenido de cloruros (912 ppm) que también produce problemas de corrosión.



A N E X O S

- A) Relación de la nomenclatura de los puntos de muestreo fijados para el estudio.
  
- B) Diagrama del consumo de agua para cuando esté operando - la Refinería de Cadereyta en su primera etapa. Datos estimados. Este diagrama fue proporcionado por la Gerencia de Refinación de PEMEX, a través de la Superintendencia General de Química.

A N E X O     A

RELACION DE LAS MUESTRAS TOMADAS EN LA REFINERIA DE CADEREYTA,  
NUEVO LEON

a) Torres de Enfriamiento

M-1 Purga de la Torre CT-201-T

M-2 Purga de la Torre CT-1601

M-3 Purga de la Torre CT-1401

b) Sección de Tratamiento de Aguas de Planta Catalítica

M-4 Entrada del Agotador 33 F

M-5 Salida del Agotador 43 V

c) Planta de Tratamiento de Aguas Amargas "MEROX"

M-6 Entrada a la Planta "Mercox"

M-7 Descarga de la Planta "Mercox" (Agua Desflemada)

d) Plantas Combinadas

M-8 Agua de carga a la Planta Combinada I, del tanque 110 V

M-9 Salida del agua tratada de la Planta Combinada I, salida del tanque 106

M-10 Agua de carga a la Planta Combinada II, entrada clave D-24

M-11 Agua de salida de la Planta Combinada II, salida clave C-8

e) Efluentes de la Planta Desmineralizadora

M-12 Salida de la Fosa de Neutralización

f) Drenajes

M-13 Drenaje pluvial de la Planta Combinada I

M-14 Descarga de la laguna de neutralización

M-15 Antigua descarga pluvial al Río Santa Catarina

M-16 Carga al Separador API

M-17 Descarga del Separador API

M-18 Descarga de la Laguna de Igualación

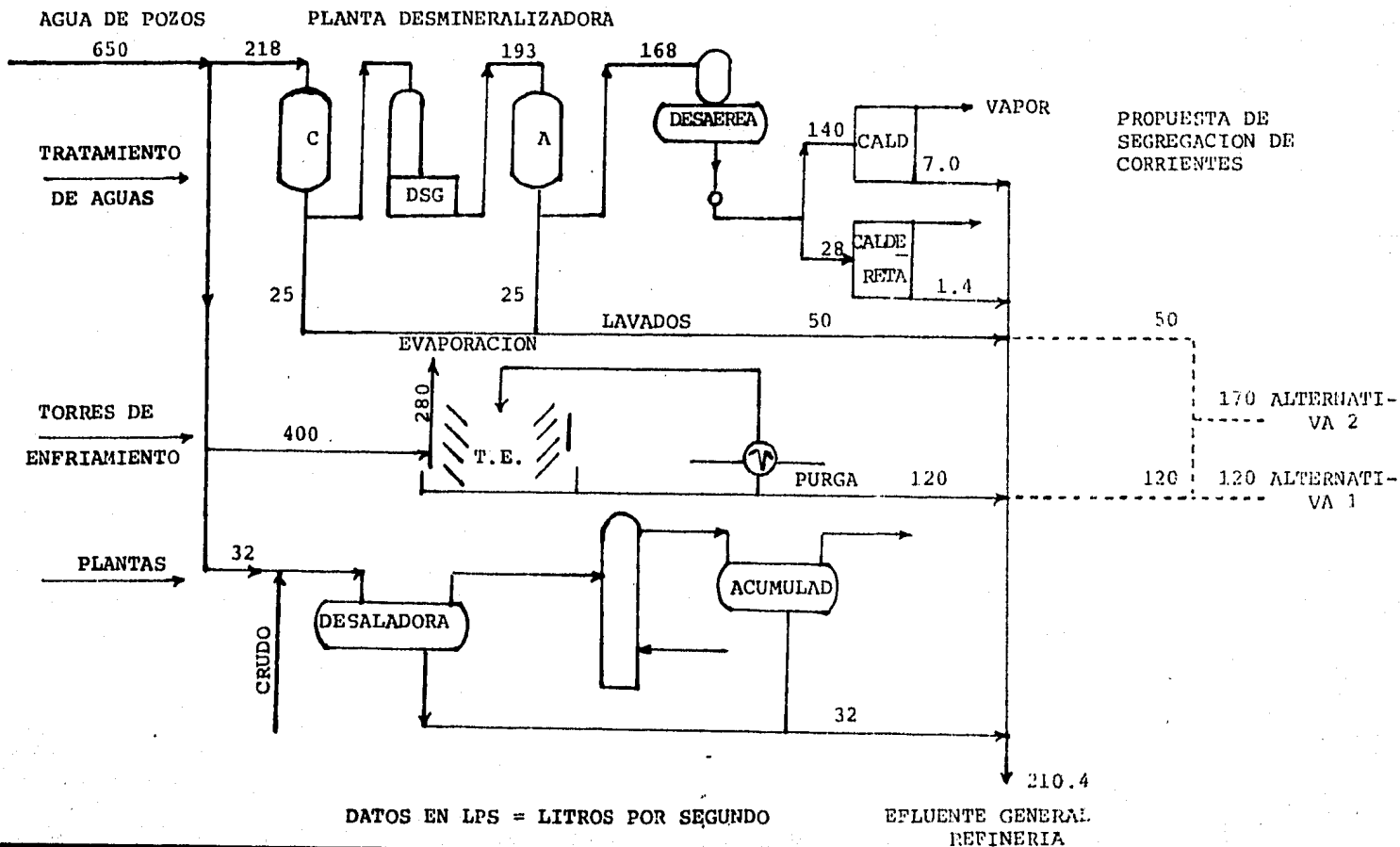
M-19 Descarga de la Primera Laguna de Estabilización

M-20 Descarga de la Segunda Laguna de Estabilización

M-21 Descarga de la Tercera Laguna de Estabilización

M-22 Descarga de la Laguna de Aereación (salida al Río Ayan-  
cual).

DIAGRAMA I. CONSUMO DE AGUA PARA LA REFINERIA DE CADEREYTA, DATOS ESTIMADOS



B I B L I O G R A F I A

1. QUIMIA DEL AGUA  
Catalán, Lafuente J.  
Ed. Blume, Barcelona, 1977
2. PRINCIPIOS DE QUIMICA INTRODUCCION A LOS CONCEPTOS TEORICOS  
Ander, P. y Sonnessa, A.J.  
Editorial Limusa, México,  
1975
3. WATER AND WASTE-WATER TECHNOLOGY SI VERSION  
Hammer, Mark J.  
John Wiley & Sons, Inc.  
U.S.A.  
1977
4. NORMAS OFICIALES DE MUESTREO Y ANALISIS DE LABORATORIO  
PARA AGUAS RESIDUALES, MEXICO  
S.R.H., 1973
5. STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER  
APHA, AWWA, WPCF, 13th. Edition  
U.S.A., 1971
6. ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARD  
Part 31  
American Society for Testing and Materials  
1978
7. THE NALCO WATER HANDBOOK  
Nalco Chemical Company  
McGraw-Hill Book Company  
U.S.A., 1979
8. INDUSTRIAL WATER CONDITIONING  
Betz, L.D. and W.H. Betz Handbook
9. PRINCIPLES OF INDUSTRIAL WATER TREATMENT  
Published by Drew Chemical Corporation  
First Edition  
U.S.A., 1977
10. MANUAL DE QUIMICA APLICADA  
Juárez, C. y Rochin, L.C.  
México, 1966
11. TRATAMIENTO DE AGUA PARA LA INDUSTRIA Y OTROS USOS  
Nordel, Eskel  
México C.E.C.S.A., 1981
12. WATER REUSE STUDIES  
Refining Department  
American Petroleum Institute Publication 949, 1977

13. WATER TREATMENT  
Marks, R.H.  
Part One & Two  
A Power Special Report  
1979
  
14. CURSO INTERNACIONAL 1983  
EFECTOS DE LA INDUSTRIA EN EL MEDIO AMBIENTE  
Instituto Mexicano del Petróleo  
México, D.F. 1983