

2437

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



Facultad de Ingeniería

DESHIDRATACION DE ACEITE Y TRATAMIENTO DE AGUAS  
DE DESECHO EN EL DISTRITO DE POZA RICA

TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO PETROLERO  
PRESENTAN:

*Gildardo Ramirez Ramirez*  
*Arturo Hernández Madariaga*

México, D.F.

1984





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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

	PAGINA
<u>CAPITULO I.</u>	
I.- INTRODUCCION	1
<u>CAPITULO II.</u>	
II.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	4
<u>CAPTITULO III.</u>	
III.- TEORIA DE LAS EMULSIONES	12
III.1.- Definición de Emulsiones	12
III.1.1.- Tipos de Emulsiones	12
III.1.2.- Emulsificantes	13
III.1.3.- Tensión Superficial	13
III.2.- Formación de las Emulsiones	14
III.2.1.- Estabilidad de las Emul -siones	16
III.2.2.- Factores de los Cuales - depende la estabilidad - de las Emulsiones	17
III.3.- Desemulsificación de Crudo	19
III.3.1.- El papel de los Agentes - Desemulsificantes	20
<u>CAPITULO IV.</u>	
IV.- SISTEMAS DE SEPARACION	23

	PAGINA
IV.1.- Sistema de Separación Aceite-Gas	23
IV.2.- Separadores	24
IV.2.1.- Tipos de Separadores	25
IV.3.- Componentes Básicos de un Separador - -Aceite-Gas.	28
IV.4.- Mecanismos de Separación	30
IV.4.1.- Métodos Usados para Eliminar - Gas del Aceite (Líquido)	31
IV.4.2.- Extractores de Niebla usados - en la Eliminación de Aceite - Líquido (Niebla) del Gas.	33
IV.5.- Capacidad del Separador	38
IV.6.- Sistema de Separación Aceite-Agua	41
IV.6.1.- Sistema de Deshidratación	42
IV.6.2.- Técnicas de Explotación	43
IV.7.- Procedimiento de Deshidratación	45
IV.8.- Selección del Proceso y Equipo	50
IV.9.- Descripción del Equipo Utilizado en la - Deshidratación y Desalado de Crudo.	54
IV.10.-Problemas de Tratamiento	64

## CAPITULO V.

V.- SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE DESECHO	69
V.1.- Contaminantes Comunes en las Aguas de - - Desecho	69
V.2.- Legislación Sobre Protección del Ambiente	72

	PAGINA
V. 3.- Disposición de Sólidos y Líquidos durante la Explotación y Producción -- - en el Mar.	76
V.4.- Generalidades de los Sistemas de Tratamiento de Efluentes.	80
V.4.1.- Tratamiento Primario	81
V.4.2.- Tratamiento Secundario	85
V.5.- Descripción del Equipo de Tratamiento	88

#### CAPITULO VI.

VI.-PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS EN POZA RICA	95
VI.1.- Deshidratación y Ductos Principales	95
VI.2.- Planta de Tratamiento de Agua Salada - de Desecho	99
VI.3.- Unidades Separadoras de Agua	100
VI.4.- Equipo de Bombeo	105
 BIBLIOGRAFIA	 106

#### FIGURAS

CAPITULO I  
I N T R O D U C Ç I O N

## I. INTRODUCCION

Durante la etapa de explotación inicial de un campo petrolífero, el agua producida con los hidrocarburos en forma de emulsión, -- no significa un grave problema, ya que las cantidades obtenidas diariamente son mínimas y generalmente pueden eliminarse con relativa facilidad.

Sin embargo, a medida que la explotación del campo continúa y -- principalmente cuando se trata de la producción de hidrocarburos, provenientes de yacimientos con empuje hidráulico ó sujetos a -- un método de recuperación secundaria, por inyección de agua, la producción de agua aumenta considerablemente, hasta el punto de ocasionar problemas en su eliminación, debido a la complejidad -- de las emulsiones que se forman al introducir productos químicos.

Con objeto de separar el agua congénita que se obtiene de la producción de un pozo, el cual contiene sales solubles e insolu- -- bles como son (Na, Ca, Mg,  $Cl^-$ ,  $=SO_4$ , etc.), y sólidos en partículas finísimas (Si, Fe, etc.), es necesario eliminar para evi- -- tar problemas de incrustaciones en tuberías e instalaciones de -- proceso, se requiere someter al crudo a un tratamiento de deshidratación; lo cual requiere de un conocimiento amplio de los mecanismos de emulsificación y de la influencia de algunos efectos físicos y químicos sobre el rompimiento de dichas emulsiones.

El agua, las sales y los sólidos que acompañan al aceite, afectan en múltiples formas la refinación del crudo, los principales

daños que ocasionan son:

- 1.- Corrosión.- Mientras más se aproxima el desalado de los crudos al 100%, será menor la proliferación de ácido clorhídrico (HCl) en la destilación, siendo éste muy corrosivo.

Los cloruros de fierro formados producen corrosión adicional, en presencia de ácidos orgánicos y ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), bajo condiciones reductoras, ya que estos cloruros reaccionan con el ácido sulfhídrico produciendo ácido clorhídrico, esto implica que estos cloruros, al tener una doble acción, deben reducirse a su mínima concentración posible.

- 2.- Abrasión.- Mientras mayor cantidad de sólidos sean separados del aceite, será menor la acción abrasiva de los puntos de máxima velocidad y turbulencia, tales como tuberías de alimentación de crudo, cambiadores de calor y bombas.

- 3.- Taponamiento.- Cuando se efectúa una eficiente limpieza del crudo, se depositan menores cantidades de sales y otros sólidos en los cambiadores de calor y en el equipo de destilación, motivando una disminución en los costos de tratamiento. En ocasiones la acumulación de cera acelera la descomposición del petróleo, con la consiguiente depositación de coque.

Queda de manifiesto la importancia de la deshidratación y desalado del crudo al nivel más alto posible, mediante la selección apropiada del proceso y equipo de campo, ya que el precio del crudo se castiga según el porcentaje de impurezas presentes en el crudo, tales como agua y otros productos.

Por otra parte el agua de desecho separada contiene hidrocarburos líquidos que son arrastrados, así como contaminantes que son altamente perjudiciales para la fauna y flora, tanto terrestre como acuática. Debido a esto, en la actualidad se han estudiado detenidamente las posibles alternativas que existen para tratar el agua, y así poder evitar los graves problemas que se presentan debido a la contaminación de tierras, ríos, manantiales, etc.

En este trabajo se da una explicación y descripción breve de la secuencia del manejo del crudo, desde que sale del pozo hasta las instalaciones: batería de separación, unidad de deshidratación, unidad de tratamiento de agua de desecho y descarga de la misma. Además se menciona la selección del proceso y problemas operacionales de los equipos de tratamiento y sus posibles soluciones, con la finalidad de no contaminar el ecosistema del receptáculo donde se descarga el agua de desecho, y además el de obtener la máxima recuperación de aceite al ser tratadas estas aguas. Finalmente se incluyen los procedimientos de tratamiento de agua de desecho del distrito de Poza Rica en el estado de Veracruz, de Petróleos Mexicanos.

C A P I T U L O    I I  
C O N C L U S I O N E S   Y   R E C O M E N D A C I O N E S

## II. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- El problema de deshidratación es relativamente simple, se limita a impedir la producción de agua, de emulsión ó a -- la formación de ella; es decir se limita a:

a) No producir agua y aceite juntos, esto puede lograrse -- restringiendo la producción del pozo explotando el in-- tervalo más adecuado, etc.

b) Reducir a lo mínimo la agitación, para impedir la -- formación de emulsiones estables. Esto puede conseguirse usando el estrangulador apropiado, y la presión de -- separación más adecuada.

El uso de estranguladores de fondo reducen notablemente la producción de emulsiones porque entre otras ventajas tiene que la emulsión formada inmediatamente después -- del estrangulador en el fondo, tiene toda la longitud -- de la profundidad del pozo para estabilizar el aceite, -- sin agitación.

2.- La deshidratación de crudos se obtiene, al aplicar desemul-- sificantes, calor, campo eléctrico y diferentes dispositi-- vos mecánicos; facilitando así la unión de las gotas de -- agua pequeñas, constituyendo gotas más grandes para conse-- guir con ello la separación por la acción de las fuerzas -- gravitacionales.

- 3.- La ecuación de Stockes define la separación por gravedad - y es una fórmula valiosa en la selección del proceso de -- deshidratación y desalado de crudos.
- 4.- La excesiva aplicación de calor, así como prolongados tiempos de asentamiento, suelen ser imprácticos operacional y - económicamente. Los mayores esfuerzos deben enfocarse para aumentar el tamaño de las gotas dispersas y obtener mayores ritmos de separación de fases.
- 5.- De cualquier forma debe evitarse el calentar el agua libre ya que absorbe calor que debiera recibir el aceite.
- 6.- Las unidades electrostáticas resultan eficientes tanto en - la deshidratación de crudos viscosos, como en el desalado - de aceite sin importar su densidad o viscosidad.
- 7.- Control del proceso, es necesario e indispensable el con- - trol de todas las operaciones que se llevan a cabo en la -- deshidratación. Este control comprende dos fases: El de rutina y el eventual, y ambas fases establecen:
  - 1°. Control de los reactivos, que constituye la obtención - de las constantes físicas y químicas, de acuerdo a las muestras tipo suministradas por los fabricantes y pro- - veedores a saber: gravedad específica, viscosidad, pun-

to de inflamación en copa abierta y cerrada, solubilidad del agua, alcohol, benzol u otros solventes. También abarca el control de los reactivos, el control del equipo y sistema de medición de los mismos, o sea de las bombas usadas para su manejo; en cuanto a eficiencia, mantenimiento y reparación.

2°. Control de los aceites crudos, por tratar y ya tratados.

El control de calidad de los crudos, es necesario, por medio del muestreo y análisis, para la selección ó segregación y cuantificación; así como también para conocer la eficiencia con la que trabajan los reactivos.

3°. Control de los tanques deshidratadores.

Este tipo de control es importante desde luego, para la obtención de los mejores resultados en su manejo, variando las condiciones de trabajo, a saber: Altura del agua de lavado, altura del aceite, carga, tiempo de paso del aceite, etc. También es necesario este control desde el punto de vista de seguridad industrial.

8.- La aplicación de un proceso específico para el tratamiento de un desecho debe hacerse en base a pruebas de campo y de laboratorio realizadas con el desecho de cuestión, y nunca por similitud con la aplicación de un tratamiento a un desecho parecido, puesto que influyen factores tanto químicos

como climatológicos que pueden alterar totalmente la eficiencia del tratamiento propuesto.

- 9.- La aplicación de un determinado sistema de tratamiento para la eliminación de aceite se debe de realizar, tomando en cuenta la superficie de terreno y personal disponible para su mejor eficiencia.
- 10.- Se debe incorporar el aspecto ambiental como un factor de toma de decisiones para la ejecución de un proyecto, de tal forma que teniendo un buen conocimiento de los ecosistemas, así como de los efectos reales que los diferentes tipos de contaminación puede causar a los mismos, sea posible dictar las medidas de mitigación adecuada para producir el mínimo impacto y el máximo desarrollo y aprovechamiento de los recursos en aquellas zonas en donde se planea construir una nueva instalación.
- 11.- Se debe de evitar la mezcla de otros productos proveniente de otros drenes, a la corriente de tratamiento, ya que es una verdadera hazaña lograr el correcto y adecuado tratamiento de estas corrientes. Esto es, el tratamiento se vuelve tan complicado y costoso al no prever esta situación desfavorable.
- 12.- Una dirección adecuada en un tratamiento de desecho puede.

reducir de manera aceptable los costos del control de la contaminación, los cuales se recuperan:

a).- Evita el riesgo de tener que detener la operación de tratamiento, por no tener el debido cumplimiento de las leyes de control de la contaminación.

b).- La utilización del agua tratada produce considerables ahorros en regiones en que ésta es escasa.

c).- El aceite residual recuperado tiene un valor económico en el mercado.

13.- Entre las actividades del grupo encargado en la dirección de tratamiento, con respecto a las principales fuentes de desecho así como seleccionar el tratamiento adecuado son:

1.- Analizar la situación específica que se le presenta.

2.- Atacar el problema en todos sus niveles:

a).- Segregando correctamente los desechos en las primeras etapas en que se producen, estudiando las posibles formas de reutilizarlos.

b).- Evitando derrames y pérdidas accidentales.

c).- Planeando el uso de productos que simplifiquen--  
la operación del tratamiento de los desechos.

d).- Diseñando y operando eficientemente las instala--  
ciones para el tratamiento de los desechos.

3.- Descargando los desechos, una vez que han sido trata--  
dos, en los lugares seleccionados para este fin.

14.- Es conveniente concientizar al personal que opera los siste--  
mas de tratamiento existentes en las diferentes instalacio--  
nes, de la importancia que reviste su actividad, tanto en -  
el aspecto ecológico como en el económico y social, puesto  
que ya se ha visto que una actividad de imprudencia por par--  
te de los operadores, carencia de conocimientos y/o falta de  
supervisión por parte de los encargados de esta labor, cau--  
sa daños por contaminación al ambiente, en pocos casos irre--  
versible pero siempre costoso para la industria y el país.

15.- Debido a los derrames involuntarios o en raras ocasiones --  
inducidos de hidrocarburos al medio físico terrestre y --  
acuático, se llegan a producir daños desde leves a severos  
a los diferentes habitats, fuentes de alimentación y aún a  
los organismos de la flora y fauna de esos ecosistemas. --  
Obviamente, la severidad del daño depende de la magnitud -  
de la descarga y de que ésta sea aislada o tenga cierta --

frecuencia, ya que esta interferencia (película de aceite que se forma en la interfase agua-aire), con el tiempo puede ser un factor irreversible para el desarrollo de cierto tipo de vida superior y dañar directamente al hombre.

- 16.- Debe considerarse que las plantas de tratamiento de efluentes no son instalaciones que causan pérdidas de capital, -- sino por el contrario son generadoras de beneficios económicos, así como de bienestar y salud dentro del área de influencia de la descarga de los efluentes que controlan.
- 17.- Deben fomentarse la investigación en aspectos ecológicos de la contaminación por hidrocarburos, tanto en aguas continentales como marinas, puesto que a la fecha se desconocen -- prácticamente sus efectos en las diferentes especies de los litorales mexicanos, así como su proporción de biodegradabilidad de acuerdo a las características propias de las aguas costeras de México.
- 18.- Problemas que se han presentado en la planta de tratamiento de agua en Poza Rica.

En términos generales, los principales problemas que ha presentado la planta en su operación son debidos a la discrepancia existente entre las bases de diseño y la composición de los efluentes que concurren a dicha planta para su trata

miento como son:

El Complejo Petroquímico Escolín para las bases de Diseño - dijo aportar aguas libres de productos petroquímicos y con características de pH neutro.

Realidades.- Los desechos de esta planta están formados por aguas ácidas o alcalinas con polisulfuro de baja densidad - que son sustancias abrasivas que deterioran rápidamente los álabes de las bombas.

Por otra parte el producto pelet, cuya característica de -- densidad es menor que la del aceite, al recuperarse éste se arrastraba al anterior llegando a los tanques con la baja - densidad indicada permanecía flotando. Además al estar con-- taminado el aceite con el producto indicado es imposible su recuperación por lo que se hace necesario la quema de ésta mezcla provocándose con ello problemas de contaminación am-- bial. Por todos los problemas indicados anteriormente se tomó la decisión de no recibir los desechos del Complejo - - Petroquímico Escolín en las presas de asentamiento procediéndose a la limpieza de éstas y a la quema de todos estos de-- sechos. Los problemas de contaminación a la fecha continúan pues las aguas de desechos del complejo petroquímico indica-- do son enviadas actualmente al Río Cazonos sin previo trata-- miento.

C A P I T U L O    I I I  
T E O R I A   D E   L A S   E M U L S I O N E S

### III. TEORIA DE LAS EMULSIONES

#### III.1. Definición de Emulsión

Es una mezcla de dos líquidos inmiscibles uno de los cuales es dispersado, en forma de gotas, dentro del otro, y se estabiliza por medio de un agente emulsificante. Una emulsión está formada de una fase interna o dispersa, una fase externa o continua y el agente emulsificante.

##### III.1.1.- Tipos de Emulsiones.

Generalmente el aceite y el agua forman una emulsión del tipo agua en aceite llamada emulsión directa; es decir donde el agua constituye la fase dispersa y el aceite la fase continua. El otro tipo de emulsión corresponde a una emulsión aceite en agua denominada emulsión inversa donde la fase interna corresponde al aceite y la fase continua al agua.

La mayoría de las emulsiones encontradas en el campo por lo general es del tipo agua en aceite, y en ocasiones se encuentra una emulsión inversa.

Las condiciones requeridas para la formación de una emulsión inversa son:

Alto porcentaje de agua.

Bajo contenido de sales en el agua y

Un agente emulsificante en la fase acuosa (remoto).

### III.1.2.- Emulsificantes.

Un emulsificante es un agente activo de superficie que altera las características de la interfase agua aceite. Para formar una emulsion es necesario, ademas del agua y el aceite, agitacion y la -- presencia de algun agente emulsificante.

Tales agentes pueden ser: asfaltenos, (compuestos de hidrocarburos de alto peso molecular que contienen azufre, nitrogeno, oxugeno, metales, etc.) resinas, cresoles, fenoles, acidos organicos, - sales metalicas, sedimentos, arcillas, ceras precipitadas, solidos de la formacion y productos de la corrosion. Dichos agentes - naturales, reducen la tension interfacial en forma moderada, en - un pH medio.

### III.1.3.- Tension Superficial.

Una molecula en el interior de un luido esta sometido a la accion de fuerzas atractivas en todas las direcciones, siendo la resultante nula. Pero si la molecula esta en la superficie del luido, sufre la accion de un conjunto de fuerzas de cohesion, cuya resultante es perpendicular a la superficie. De aquu que sea - necesario consumir cierto trabajo para mover las moleculas hacia la superficie venciendo estas fuerzas, por lo que las moleculas superficiales tienen mas energa que las interiores.

DEFINICION.- La tensión superficial de un líquido es el trabajo que debe realizarse para llevar moléculas en un número suficiente desde el interior del líquido hasta la superficie para crear una nueva unidad de superficie (dinas/cm, erg/cm etc.). Esto se presenta entre líquidos y gases.

Cuando dos líquidos no miscibles se ponen en contacto, aparece una interfase. Las fuerzas de atracción que actúan en las moléculas de la interfase de los dos líquidos no están balanceadas desarrollándose lo que se conoce como tensión interfacial.

Una teoría adecuada de las emulsiones debe explicar, por lo menos los siguientes puntos:

- 1.- Formación de las emulsiones.
- 2.- Estabilidad de las emulsiones, factores tales como: la viscosidad, porcentaje de agua, edad de las emulsiones y el pH.
- 3.- Desemulsificación.
- 4.- El papel de los agentes desemulsificantes (químico, calor, y el efecto eléctrico.)

### III.2.- Formación de las Emulsiones.

Tres condiciones son necesarias para la formación de una emulsión

estable; la cual no se romperá sin alguna forma de tratamiento.

- a).- Los líquidos deben ser no miscibles.
- b).- Estos deben tener suficiente agitación para dispersarse un líquido en otro en forma de gotas.
- c).- La presencia de un emulsificante.

Entre cantidades adyacentes de aceite y agua, existe una resistencia que impide la emulsificación de los dos fluidos. Esta resistencia desaparece cuando proporciones pequeñas de ciertos materiales, naturales o artificiales, están presentes en la mezcla. Estos materiales (surfactantes) reducen bruscamente la tensión entre las dos fases rompiendo la barrera existente en la vecindad entre un fluido y otro.

Así como las condiciones de turbulencia dispersan las gotas de un fluido en el seno de otro, el emulsificante envuelve a cada partícula dispersa por medio de una película molecular. Dicha película impide que la partícula dispersa se coalesca con otras partículas aisladas, proporcionando a la mezcla un cierto grado de estabilidad.

La mezcla resultante es normalmente una emulsión de agua en aceite, que es una emulsión directa; la cual se encuentra en la mayoría de operaciones de producción y refinación de crudo.

En los pozos productores de aceite, esta emulsión normalmente se estabiliza por hidrocarburos polares que parecen en cantidades - muy pequeñas.

La polaridad es la propiedad de las moléculas referente a su estructura. Las moléculas colocadas simétricamente son "no polares" y eléctricamente neutrales exteriormente. Las moléculas de estructura no simétrica son "polares" y activas eléctricamente al exterior.

### III.2.1.- Estabilidad de las Emulsiones.

La estabilidad de una emulsión puede definirse como la resistencia a ser quebrada o rota. Una emulsión se rompe debido a que la tensión interfacial actúa para minimizar el área de las gotas dispersas mediante la unión de ellas.

Las emulsiones pueden estabilizarse por:

- a).- Cargas de repulsión sobre las interfases de la fase dispersa.
- b) Películas adsorbidas, que siendo preferentemente mojadas por la fase continua, actúan como una barrera física para inhibir el contacto entre las gotas dispersas.

El grado de estabilidad de las emulsiones está relacionado con -- los dos parámetros siguientes: la razón de película y la viscosi

dad del aceite. La razón de película es el cociente del volumen del agente emulsificante y el volumen de la fase dispersa. La viscosidad del aceite influye en dos formas, aumentando el tiempo de floculación de las gotas dispersas y por el hecho de que las mayores fracciones de asfaltenos y resinas polares están presentes en los crudos de alta densidad y alta viscosidad.

Las emulsiones pueden también estabilizarse por medio de sólidos de la formación, tales como ceras precipitadas, depósitos y productos de la corrosión los cuales pueden ser mojados por aceite mediante la adsorción de asfaltenos y resinas del aceite crudo.

La película puede ser rígida o móvil. En el primer caso presenta una viscosidad interfacial alta y baja en el segundo como la que forman los surfactantes.

### III.2.2.- Factores de los Cuales depende la estabilidad de las Emulsiones.

**VISCOSIDAD.-** La viscosidad de un líquido es la resistencia a fluir, ésta se afecta por el calor, es decir un aceite disminuye su viscosidad a medida que se calienta más.

Un aceite con alta viscosidad tenderá a soportar o mantener grandes gotas de agua en suspensión que uno de baja. Un aceite viscoso requiere más tiempo para asentar las gotas de agua.

**PORCENTAJE DE AGUA.**- Cuando el porcentaje de agua aumenta, mayor agitación se necesita para emulsionar ésta con el aceite. Así -- que en general, se puede decir que, a mayores porcentajes de -- agua habrá formación de menores porcentajes de emulsiones estables.

**EDAD DE LAS EMULSIONES.** - Cuando se tiene una emulsión y ésta no se trata, cierta cantidad de agua se asentará por efecto de la -- gravedad y coalescencia. A menos que se le dé un cierto tratamiento con el objeto de llevar a cabo una completa rotura, habrá un pequeño porcentaje de agua suspendido en el aceite que sólo con -- un tiempo indefinido de residencia se separará. Estos pequeños -- porcentajes tienden a estabilizar las emulsiones. Esto explica -- porque algunas emulsiones se vuelven más estables y más difíciles de tratar con el tiempo.

#### **EFEECTO DEL pH SOBRE LA EMULSIÓN**

Los cambios en el pH de la fase acuosa afectan la naturaleza de -- la película en forma considerable (observar la tabla siguiente); -- siendo inestables a un pH de 10.5

TABLA.- Efecto del pH sobre los tipos de emulsiones y su estabilidad.

pH	TIPO DE EMULSION	ESTABILIDAD DE LA EMULSION.
3.0	agua/aceite	alta
6.0	agua/aceite	alta
10.0	agua/aceite	baja
10.5	ninguna	inestable
11.0	agua/aceite	baja
13.0	aceite/agua	baja

### III. 3.- Desemulsificación de Crudo.

Generalmente la desemulsificación ocurre en dos etapas: floculación y coalescencia. En la floculación, las gotas de la fase dispersa forman agregados, sin perder su identidad completamente. Este proceso es en ocasiones reversible. En la etapa de coalescencia, los agregados se combinan formando gotas individuales. Este proceso irreversible completa la desemulsificación.

El mecanismo íntimo de la desemulsificación no ha sido establecido definitivamente. Se cree que los surfactantes adsorbidos en la superficie, rompen y desplazan la película del agente emulsificante.

Esto permite que, bajo la acción de la tensión interfacial, haya

una tendencia a reducir el área de las gotas dispersas mediante la unión de ellas (coalescencia).

No es suficiente que las gotas de agua se sedimenten sino también los sólidos, ya que frecuentemente quedan atrapadas en la barrera interfacial entre el aceite y el agua.

III. 3.1.- El papel de los Agentes Desemulsificantes.

a). AGENTES QUIMICOS.- Muchas teorías se han propuesto para explicar el efecto de los reactivos químicos sobre las emulsiones. Una de ellas es la que explica que el compuesto químico sirve únicamente para neutralizar el efecto del agente emulsificante sobre la base de que para romper una emulsión de agua en aceite, dicho agente debe tener un efecto tal que produzca una emulsión de aceite en agua. Otra teoría explica que el reactivo químico fragiliza (endurece) la película para que tenga un reducido coeficiente de expansión y cuando el agua encerrada se expanda por el efecto del calor, la película es destruida y la emulsión se rompe. En ausencia de calor, el reactivo químico no solo vuelve frágil la película sino la hace contraerse y la destroza.

Cada emulsión requiere de un producto químico específico. Se ha observado que hasta para un mismo pozo la emulsión es diferente a lo largo de su vida productiva, requiriendo de aditivos químicos especiales, y bajo condiciones de tratamiento y equipo especiales.

b) CALOR.- La teoría mas admitida del efecto del calor sobre las

emulsiones dice que: Las pequeñas gotas que forman la emulsión - están en constante movimiento, fenómeno que se conoce como movimiento browniano. El calor aumenta este movimiento y causa el -- choque constante de las gotas con gran fuerza.

Cuando esta fuerza de choque es lo suficientemente grande, las - películas que rodean a las gotas se rompen y éstas coalescen.

La aplicación de calor contribuye en dos formas a la desemulsifi - cación; reduciendo la tensión interfacial y la viscosidad del -- aceite en la fase continua y por consecuencia aumenta la fuerza de choque, y al mismo tiempo permite al agua asentarse más rápida - mente.

Cuando sea posible debe aprovecharse cualquier fuente de calor - disponible, incluyendo el calor que el aceite trae consigo, cuan - do procede de formaciones profundas y fluye a gastos altos. Por otra parte la adición de calor está limitada por razones económicas.

c) EFECTO ELECTRICO.- La base para la unión o coalescencia elec - trostática de las gotas la proporciona la propia molécula de - - agua; formada por una parte de oxígeno y dos partes de hidrógeno que al unirse configuran un campo eléctrico (fig. III.1.a). El -- centro del componente positivo, el hidrógeno, está en un extremo y el componente negativo, el oxígeno, está en el otro. Esto es - un dipolo y responde a la aplicación de un campo eléctrico.

Bajo la acción de un campo eléctrico una gota de agua se deforma elipsoidalmente, como se muestra en la (fig. III.1.b). Con el alargamiento de la gota; la película que la rodea puede romperse facilitando la coalescencia de las gotas adyacentes.

De mayor interés es el desplazamiento de las gotas bajo el efecto eléctrico. Las gotas adyacentes se alinean en dirección de la fuerza del campo eléctrico y con el voltaje de la corriente alterna, las gotas se afectarán 120 veces/seg, (fig. III.1.c).

Al aplicar la corriente eléctrica a la emulsión la respuesta a la coalescencia se da en fracciones de segundo.

Y un aumento en el gradiente eléctrico podría acelerar el proceso, pero el voltaje fluctúa entre los 12 000 y 30 000 volts y varía -- inversamente proporcional a la densidad del crudo y la conductividad de la emulsión por tratar.

C A P I T U L O     I V  
S I S T E M A S   D E   S E P A R A C I O N

#### IV. SISTEMAS DE SEPARACION.

##### IV.1.- Sistema de Separación Aceite-Gas.

Con el objeto de describir el manejo de la producción en un campo, se muestra la (fig. IV.1), un diagrama de la secuencia desde su extracción y tratamiento que se le da en campo para enviarla a plantas de proceso.

A continuación se dará una descripción del Sistema de Baterías de Separación, quedando posteriormente a tratar las siguientes secuencias.

##### 1.- Baterías de Separación.

Los principales componentes en el crudo son agua, gas y aceite, - por lo que para su manejo es conveniente separarlos en líquidos y gases, sin llegar al extremo de hacerlo a nivel de componente, esto se logra en las Baterías de Separación, como se ilustra en la (fig. IV.2).

Estas Baterías además de la función antes indicada tiene como finalidad las siguientes:

- 1.- Separar agua y sólidos del crudo
- 2.- Medir gastos de gas.
- 3.- Almacenar y bombear el aceite recibido.
- 4.- Eliminar licuables y agua del gas por comprimir.

Para realizar las funciones antes indicadas, las Baterías de Separación cuentan con las siguientes instalaciones y equipos.

## 2.- Múltiples de Válvulas

Con este equipo se logra desviar la producción de los pozos a un separador ó conjunto de separadores, esta instalación está constituida para cada pozo por las siguientes partes:

- a) Válvula unidireccional (check)
- b) Dos válvulas de compuertas
- c) Niples del mismo diámetro de las válvulas

En el extremo de estos múltiples se tienen válvulas para desviar la producción a la presa de la Batería, en la (fig.IV.3) se muestra la distribución del conjunto de válvulas.

## IV.2. Separadores.

Un separador es un tanque normalmente cilíndrico de acero, que sirve para realizar el proceso de separación, está constituido de una válvula reguladora de presión, la cual mantiene una presión constante de acuerdo al volumen de gas que se esté manejando en el separador, y mediante un control de nivel se tiene un determinado volumen de líquido de manera que no sobrepase el nivel inferior, esto es, que el nivel sea constante o fluctuante dependiendo del

gasto que se esté manejando.

Estos son capaces de manejar volúmenes de líquido (slug o heads) del fluido del pozo, por lo tanto son comúnmente utilizados según su tamaño para manejar relaciones gas-aceite. Por su función los separadores se dividen en: separadores de producción general y de medición, los primeros reciben los fluidos de varios pozos y los segundos lo hacen de uno sólo para cuantificar el aceite y gas -- en forma selectiva. Todas las separaciones se basan en la diferencias en propiedades físicas de los componentes a ser separados, - las cuales a su vez determinan el tipo y cantidad de fuerza ó influencia a ser aplicados para efectuar la separación, asimismo, - con el objeto de llevar a cabo esta separación, se recurre a la -- aplicación de las leyes físicas en conjunto con observaciones y - pruebas con la finalidad de sostener una alta eficiencia de separación.

#### IV.2.1. Tipos de Separadores.

##### 1.- Separador Vertical.

La clasificación más general de separadores en la industria se basa en su forma, siendo el primero y aún el tipo más común, el separador vertical con elementos internos.

La alimentación se encuentra localizada cerca del centro del tanque, la salida del gas en la parte superior y la salida de líquido.

do cerca del fondo, este tipo de separador es utilizado para manejar bajas relaciones gas-aceite, además es muy versátil debido a su flexibilidad de operación, en la (fig. IV.4), se muestra este tipo de separador.

## 2.- Separador Horizontal.

En este tipo de separador, se pueden manejar mayores cantidades de gas que en un separador vertical con el mismo diámetro, aún cuando ésta mayor cantidad de gas deja menor espacio para retención de líquido y acumulación de contaminantes, tales como lodos, parafinas ó arena. El uso de este tipo de separador, es bastante adecuado para manejar altas relaciones gas-aceite, en la (fig. IV.5), se muestra esta tipo de separador.

## 3.- Separador Esférico.

Ultimamente, este tipo de separador ha ganado cierta popularidad, el cuerpo consiste de dos tapas hemisféricas, su versatilidad de operación es comparable al separador horizontal, son muy compactos y de fácil instalación.

La siguiente tabla resume las ventajas y desventajas de cada tipo.

CONSIDERACIONES	HORIZONTAL	VERTICAL	ESFERICO
Eficiencia de Separación	1	2	3
Estabilidad de los fluidos separados.	1	2	3
Adaptabilidad a condiciones variables (tales como flujo intermitente)	1	2	3
Flexibilidad de operación (tales como ajuste de nivel de líquido)	2	1	3
Capacidad (el mismo diámetro)	1	2	3
Costo por unidad de capacidad.	1	2	3
Habilidad para manejar aceite espumoso	1	2	3
Lugar de instalación:			
Plano Vertical	1	3	2
Plano Horizontal	3	1	2
Fácil de instalar	2	3	1
Fácil de inspeccionar y mantenimiento.	1	3	2

(1) El más favorable.

(2) Intermedio, y

(3) Menos favorable.

#### IV. 3.- Componentes Básicos de un Separador Aceite-Gas.

Un separador aceite-gas deberá contar con las siguientes partes:

##### 1.- Sección de Separación Primaria.

El objeto principal de esta sección, es la eliminación de la mayor parte del líquido contenida en la alimentación; ya que es importante eliminar rápidamente los volúmenes grandes de líquido de la corriente de gas para minimizar las turbulencias y arrastre de partículas de líquido, preparando la corriente para una separación posterior.

En un tanque vertical, esto se puede llevar a cabo colocando la boquilla de alimentación en forma tangencial y utilizando la fuerza centrífuga generada para eliminar rápidamente la mayor cantidad de líquido, y permite la redistribución de la velocidad del gas; otra forma de lograr esta separación, es por medio de placas deflectoras o de choque, las cuales se usan normalmente en separadores horizontales y esféricos, con un mínimo de arrastre de partículas líquidas.

##### 2.- Sección de Separación Secundaria

En esta sección se elimina al máximo las gotas pequeñas aún contenidas en el gas, el principio fundamental de separación, es el -

asentamiento por gravedad, ya que se reduce drásticamente la velocidad del gas. La eficiencia de separación de esta sección, -- depende primordialmente de las propiedades del gas y del líquido, diámetro de la partícula líquida y el grado de turbulencia, generalmente se minimizan por medio de la sección primaria de separación ó con el uso de placas rectificadoras de flujo.

### 3.- Sección de Extractor de Niebla.

Con el objeto de eliminar por último las partículas más pequeñas de líquido (niebla), después de haber pasado a través de las secciones anteriores, generalmente se utilizan el principio de choque y coalescencia ó fuerza centrífuga como mecanismo primario de eliminación de niebla.

En ambos casos, las pequeñas gotas se juntan sobre una superficie sólida de donde caen por gravedad al formarse gotas suficientemente grandes.

### 4.- Sección de Acumulación de Líquidos.

El objeto de esta sección, es el de recibir y eliminar el líquido contenido en la alimentación, y deberá ser capaz de mantener a éste con el mínimo de perturbaciones, a causa del flujo de gas, así como tener el volumen suficiente y equipo de control de nivel para hacer una eficiente separación, incluyendo los momentos

que se tenga máxima aportación de los pozos.

#### IV.4.- Mecanismos de Separación.

Entre las razones principales por las que es necesario efectuar una buena separación del gas y líquido, están las siguientes:

- a).- En campos de gas y aceite donde no se cuenta con el equipo de separación eficiente y con el tamaño adecuado, y además - el gas se quema, una cantidad considerable de licuables que es arrastrado por el flujo de gas también es quemado, ocasionando grandes pérdidas si se considera que el aceite ligero es el de más alto valor comercial.
  
- b).- Aunque el gas se transporta a una cierta distancia para tratarlo, es conveniente eliminarle la mayor cantidad de líquido ya que éste ocasiona problemas, tales como: corrosión y abrasión del equipo de transporte, aumento en las caídas de presión y disminución en la capacidad de transporte de las líneas y golpes de ariete.

Para llevar a cabo estas separaciones, existe una serie de diseños especiales para cada caso, aún así todos estos diseños se basan en uno o más de un número limitado de mecanismos físicos de separación, usados generalmente dentro de un tanque cilíndrico.

#### IV.4.1. Métodos Usados para Eliminar Gas del Aceite (Líquido).

Por lo anteriormente expuesto, es importante eliminar todo el gas libre en el aceite, esto puede ser realizado por diversas maneras, siendo éstas:

- a).- Asentamiento
- b).- Agitación (deflector)
- c).- Calor
- d).- Productos Químicos

a).- Asentamiento: El gas libre se separará del aceite, si al aceite se le da un tiempo de residencia suficiente.

Para aumentar el tiempo de residencia de un producto líquido fijo, se requiere un aumento en el tamaño del tanque o un aumento en la profundidad del líquido en el separador, este aumento, puede no resultar en un aumento de gas libre, debido a que puede ser arrastrado por el aceite en la salida de descarga.

b).- Agitación (deflector): La agitación es útil en la eliminación del gas libre, el cual puede ser mecánicamente encerrado en el aceite por tensión superficial y viscosidad del aceite, la agitación puede causar las burbujas de gas, para coalescerse y separarse del aceite en el menor tiempo requerido -

si la agitación no fuese empleada, siendo ésta obtenida por vibradores ó deflectores.

Un elemento desgasificador puede ser instalado en la entrada de un separador, como se muestra en la (fig.IV.6 ), este elemento espaciador y disipador de aceite, actúa de tal forma que permite que el gas escape fácilmente del aceite. Los deflectores son colocados en la trayectoria del espaciador de aceite, en capas delgadas, el aceite es rodado repetidas veces como cascada abajo del deflector, siendo efectivo en el desprendimiento de burbujas de gas arrastradas en el - - aceite y en el manejo de aceite espumoso.

c).- Calor: El calor reduce la tensión superficial del aceite y permite el desprendimiento del gas que es mecánicamente - - adherido en el aceite.

El método más efectivo en el calentamiento de aceite es - - - - - a través de un cambiador de calor aceite-aceite, aceite-gas y aceite-aire ( $\text{CO}_2$  caliente producto de la combustión), el - - - - - cual es útil en la coalescencia de las burbujas del gas, -- - - - - siendo más efectivo para eliminar espuma de un aceite espumoso.

d).- Productos Químicos: Cualquier producto químico que reduce -

la tensión superficial de un aceite, permitirá la liberación del gas libre del aceite, además reduce la tendencia a espumar el aceite y con lo cual aumenta la capacidad de un separador cuando se maneja aceite espumoso. En un caso particular la capacidad de un separador aceite-gas fue incrementada de 3800 a 9600 Bls/D, cuando un cierto producto químico fue inyectado en la corriente arriba del separador.

#### IV.4.2.- Extractores de Niebla usados en la Eliminación de Aceite Líquido (Niebla) del Gas.

El líquido residual en forma de niebla puede ser eliminada eficazmente de la corriente de gas en el separador aceite-gas, por un buen diseño del extractor de niebla. Sin embargo, el vapor condensable no puede ser eliminado por el extractor, ya que este se condensa debido a la reducción de temperatura, el cual ocurre después de que el gas ha sido descargado del separador.

La diferencia de densidad entre el líquido y gas, ocasiona la realización de la separación de gotas de líquido de una corriente de gas, donde la velocidad de ésta es lo bastante baja para evitar la caída de presión excesiva, además de permitir el tiempo suficiente para realizar la operación.

Los extractores de niebla son generalmente instalados en los separadores aceite-gas, para ayudar en la separación, así como minimizar la cantidad de líquido (niebla) arrastrado con el gas.

Los extractores de niebla pueden ser de diferente diseño, utilizando los siguientes principios:

- a).- Choque (Impingement).
- b).- Cambio de Dirección de flujo
- c).- Cambio de Velocidad
- d).- Fuerza Centrífuga
- e).- Paquetes Coalescedores
- f).- Filtros.

Usando una combinación apropiada de estos mecanismos, es posible obtener la limpieza del gas que se adapte a casi cualquier aplicación específica. Cada uno de los diseños mecánicos, ha comprobado su eficacia en algún servicio o aplicación, así como su ineficiencia en otros.

a).- Choque (Impingement).- Si la corriente de gas conteniendo líquido (niebla) es chocada contra una superficie, esta niebla puede adherirse a la superficie y coalescerse en gotas grandes de líquido que tenderán a caer a la sección de líquido del tanque.

Este mecanismo, se aplica básicamente para la eliminación de gotas de líquido ligeras a moderadas, cuando el contenido de partículas líquidas es alto, se llega a la condición de "inundación", la cual es un fenómeno en donde las partículas de líquido empiezan a reducir el área de paso del gas, aumentando éste su velocidad hasta el

punto en que arrastra partículas grandes de líquido.

En la (Fig. IV.7) se ilustran los dispositivos de separación basados en el mecanismo de choque

b).- Cambio de Dirección de Flujo: Cuando la dirección de flujo de una corriente de gas conteniendo líquido (niebla), es cambiado abruptamente, la inercia causa en el líquido a permanecer en la dirección original de flujo, siendo así efectuada la separación, puesto que el gas más fácilmente toma el cambio de dirección y continúa a fluir a zonas de menor potencial (altura, presión, inercia). El líquido así eliminado puede coalescerse en una superficie ó puede caer directamente en la sección del líquido como se muestra en la (fig. IV.8).

c).- Cambio de Velocidad: La separación de líquido y gas es también efectuada, en cualquiera de las dos formas, es decir, con una súbita disminución ó aumento en la velocidad. Ambas condiciones utilizan la diferencia de inercia del líquido y gas.

Cuando hay una disminución en la velocidad del gas, y debido a la alta inercia del líquido (niebla), esta es llevada hacia adelante en sentido contrario a la del gas, entonces el líquido puede coalescerse sobre una superficie y tender a caer a la sección de líquido del separador, en el caso de un aumento en la velocidad del gas y a la alta inercia del líquido, ocasiona que el gas sea

movido lejos del líquido y éste pueda caer en la sección líquida, este tipo de extractor de niebla es mostrado en un separador - - - aceite-gas vertical, (Fig. IV.9)

d).- Fuerza Centrífuga.- Si una corriente de gas que lleva líquido (niebla), fluye con un movimiento circular con suficiente velocidad, esta fuerza centrífuga arrojará la niebla al exterior contra las paredes del tanque, produciéndose la coalescencia de grandes gotas que finalmente tienden a caer a la sección líquida del separador, este dispositivo es uno de los más efectivos en la separación del líquido (niebla), aumentando su eficiencia cuando se incrementa la velocidad de la corriente de gas. Este tipo de extractor ha sido instalado en tanques de diámetro pequeño, manejando volúmenes grandes de gas, siendo utilizado como depurador en un sistema de recolección de gas.

Sin embargo, no es práctico en pozos productores de aceite y gas como separador primario, debido a que puede ser saturado fácilmente con volúmenes de líquido (slug), y ocasionar que éste salga con el gas, en la (Fig. IV.10), se muestra este tipo de extractor de alabes.

e).- Paquetes Coalescedores.- Los paquetes coalescedores proveen un medio efectivo de separación y eliminación de líquido (niebla) de una corriente de gas, siendo hechos de anillos de material refractario, mallas de alambre, estos paquetes emplean una combina--

ción de choque, cambio de dirección, cambio de velocidad y fuerza centrífuga, para optimizar la separación, así como también de una superficie grande de agregación y coalescencia de líquido -- (niebla), en la (Fig. IV.11), se muestra este tipo de extractor de mallas de alambre.

La desventaja de este extractor, es que puede ser obturado por -- la depositación y parafinas o material extraño, por lo cual lo -- hace inoperante después de un período corto de servicio. Aún cuando los paquetes coalescedores son muy efectivos en la eliminación de líquido (niebla) del gas, es comunmente preferible a usar extractor de niebla de tipo de aílaves, porque estos pueden ser usados en condiciones muy variables.

6.- Filtros.- Los filtros han demostrado su efectividad en la eliminación de líquido (niebla) del gas en ciertas aplicaciones. -- Unos de los descubrimientos más importantes en los últimos años en el campo de limpieza de gas, ha sido el uso de elementos filtrantes de fibra de vidrio, que cuando han sido aplicados a filtración de sólidos, también tienen la propiedad de coalescer pequeñas partículas líquidas con alta eficiencia

En este servicio, las gotas pequeñas filtradas de la corriente -- de gas se aglomeran en los intersticios del medio filtrante hasta saturarse, aumentando la caída de presión hasta que las gotas formadas son forzadas a pasar a través del filtro, uniéndose nuevamente a la corriente de gas, pero como gotas mayores, que po ---

drán ser eliminadas posteriormente por métodos convencionales.

La presión de la gota a través de los extractores de niebla usados en los separadores, debe de ser lo más baja posible, con esto se mantiene la máxima eficiencia en la separación.

Generalmente hablando, el extractor de niebla de tipo filtrante, tendrá la más alta presión en la gota por unidad de volumen y la coalescencia de este tipo tendrá que ser la más baja.

#### IV.5.- Capacidad del Separador.

Se determina bajo ciertas condiciones:

- a).- Que el líquido no produzca ni espuma ni oleaje.
- b).- Las válvulas y líneas de carga deben de ser de dimensiones adecuadas.
- c).- La temperatura de operación debe estar arriba del punto de formación de hidratos.
- d).- Las partículas del líquido separables son esferas de 10 micrones.
- e).- La capacidad de líquido del separador es la relación de un volumen normal de aceite entre el tiempo de retención del separador, que es normalmente de un minuto  $1 \text{ft}^3/\text{min} = 257 \text{ bls/día}$ .
- f).- La capacidad nominal de aceite se toma como la capacidad --

real para permitir frentes normales del flujo.

### 1.- Etapa de Separación del Aceite y Gas.

La etapa de separación de aceite y gas es realizada con una serie de separadores, operando a una presión menor que la procedente. - Las condiciones de presión y temperatura a las que el gas y aceite son separados se denominan etapas de separación, los volúmenes de aceite y gas producidos dependen de las condiciones de separación y en consecuencia también de los valores de las propiedades de los fluidos, como el factor de volumen, la relación de solubilidad, etc.

El líquido es descargado de un separador de alta presión para entrar a otro de baja presión, el propósito de la etapa de separación es el de obtener la máxima recuperación de hidrocarburos líquidos de los fluidos del pozo, y además proveer la máxima estabilidad de líquido y gas.

Hay dos procesos de laboratorio de liberación de gas (vapor) del hidrocarburo líquido en función de la presión, siendo estos la separación flash y diferencial.

La separación flash es realizada cuando la presión es reducida en el sistema, permaneciendo el líquido y el gas (vapor) en contacto, es decir, sin ser eliminado, así la reducción en la pre-

sión permite al gas salir de la solución, esto ocasiona la mayor parte de gas y la menor parte de líquido.

La separación diferencial es realizada cuando el gas es eliminado del contacto con el líquido, también al reducir la presión -- permite al gas salir de la solución, este proceso produce la mayor parte de líquido y la menor parte de gas.

Un separador de aceite-gas ideal, desde el punto de vista de la máxima recuperación de líquido, es aquel que reduce la presión - del fluido del pozo desde el cabezal hasta la entrada del separador, aproximadamente a la presión atmosférica en la descarga - del separador, eliminando continuamente el gas del líquido.

Sin embargo, este arreglo no es práctico; algunos beneficios de un separador ideal, pueden ser obtenidos por el uso de separación de etapa múltiple, el número de etapa no significa obtener un beneficio considerable, como se observa en la tabla<sup>1</sup> siguiente.

NUMERO DE ETAPA DE SEPARACION	POR CIENTO APROXIMADO DE VAPORIZACION DIFERENCIAL.
2	0
3	75
4	90
5	96
6	98

1. Esta tabla es de Garman O. Kimnel, ASME paper 49-PET-15

La cuestión económica, generalmente limita el número de etapas de separación a tres y cuatro, en el caso de cinco y seis será útil en condiciones favorables.

La separación de dos etapas es normalmente considerada, cuando un separador aceite-gas es usado en conjunto con un tanque de almacenamiento a la presión atmosférica. Esta separación se aplica para aceites de baja gravedad específica, baja presión de flujo en la separación y baja relación gas-aceite.

La separación de tres etapas, se recomienda para aceites de gravedad específica intermedia, presión de flujo intermedia, y relación gas-aceite intermedia o alta, la cual es obtenida al utilizar dos separadores en serie a diferente presión y un tanque de almacenamiento, siendo éste la tercera etapa, a su vez se puede continuar la separación o el tratamiento del aceite, la (Fig. - IV.12), muestra esquemáticamente una instalación de tres etapas. Este tipo de instalación permite separar el gas con poca turbulencia, reduciéndose el arrastre de licuables por etapa de separación, además se aprovechan las altas presiones en el transporte del gas a los centros de proceso.

#### IV.6.- Sistema de Separación Aceite-Agua.

El propósito del término tratamiento, se refiere a cualquier procedimiento designado para separar materia extraña del petróleo

crudo. La material extraña puede incluir agua, sal, arena, sedimentos y otras impurezas en el aceite.

En este capítulo se revisarán las bases técnicas para la selección apropiada del proceso y equipo de deshidratación y desalado de crudo, aplicables en el tratamiento en campo o en refinería, además se describe el funcionamiento de las diversas unidades de tratamiento, así como también se tratan los problemas operacionales y sus posibles soluciones.

#### IV.6.1.- Sistema de Deshidratación.

Con este nombre se denomina una serie de acciones encaminadas a eliminar el agua del crudo producido por los pozos. En forma simplificada ésta acción consiste en colocar una mezcla de aceite y agua en un recipiente y por efecto de la fuerza de gravedad y un tiempo de residencia determinado, lograr este objetivo.

Existen múltiples factores que influyen en esta separación como son:

##### 1.- Tipo de Aceite.

La viscosidad de un aceite es directamente proporcional a su densidad; ésta característica influye grandemente en la capacidad para retener en suspensión el agua congénita, di-

ficultando la deshidratación.

## 2.- Características de la Mezcla.

El grado de emulsión y la proporción de agua en un crudo, - afectan directamente en las propiedades de la mezcla. Estas características influyen en la deshidratación y transporte del crudo.

## 3.- Temperatura.

La temperatura a la que se encuentra un crudo es determinante para facilitar la separación, y forma parte de las técnicas de deshidratación.

## IV.6.2.- Técnicas de Explotación.

Dado que el agua, en la explotación de un yacimiento es un producto indeseable, existen técnicas aplicadas a los pozos que normalizan su producción minimizando la de agua.

Entre estas operaciones se encuentran:

### a).- Tratamiento con Acido a la Formación.

Este método es aplicable a yacimientos de caliza, y consis-

te en disolver la roca con ácido para aumentar el diámetro de los poros y reducir las caídas de presión en las inmediaciones del intervalo productor.

b).- Fracturamiento.

Este método consiste en aplicar altas presiones a la formación y las grietas resultantes son llenadas de un material permeable que sirve de soporte a la fractura.

Con lo anterior se logra reducir las caídas de presión en las inmediaciones del intervalo productor.

c).- Cementación Selectiva.

En pozos terminados en agujero descubierto, se reduce la producción de agua taponando con cemento la zona que la contenga. En los anteriores métodos al reducir la velocidad de flujo, decrece el agua aportada por la formación.

d).- Cambio de Intervalo Productor.

Al incrementarse significativamente el agua producida por un pozo, otra técnica para reducirla consiste en cambiar de posición el intervalo productor, taponando uno y abriendo otro.

e).- Recuperación Secundaria.

El método de recuperación secundaria que usa el agua como medio desplazante, se basa en la selección de pozos inyector y productores en un yacimiento, desplazando, el aceite con presión y efectos gravitacionales a las zonas de menor potencial. Con este sistema se logran recuperaciones hasta del 40% adicional a las obtenidas en la explotación primaria de los pozos, en el diseño de plantas deshidratadoras debe tomarse en cuenta los incrementos de agua que se tendrán cuando el frente de éste llegue a los pozos productores.

IV.7.- Procedimientos de Deshidratación.

El desarrollo de las actuales técnicas de deshidratación fue motivado por las dificultades que presentan los crudos al tener una gama de características como son el porcentaje de agua, presencia de emulsiones, costos de las instalaciones y tratamiento del crudo.

Actualmente Pemex tiene la tendencia de centralizar el tratamiento de crudo para evitar el impacto al medio ambiente.

El aceite y el agua son productos no miscibles de diferente densidad que básicamente su separación se logra por acción de la - - -

gravedad sobre las partículas del crudo. Esta acción se acelera haciendo intervenir los siguientes factores:

- Cambio de temperatura del crudo.
- Inyección de productos químicos.
- Técnicas electrostáticas.

A continuación se describen los diferentes tipos ó técnicas que se realizan para la deshidratación del crudo.

#### 1.- Separación por Gravedad.

La deshidratación de crudos es esencialmente un proceso de separación por gravedad, ya que proporciona la fuerza natural requerida para remover el agua salada del aceite, cuando el agua presente en el crudo, está en forma de baches ó gotas grandes.

Actualmente se disponen de varios diseños de equipo para ayudar a la separación por gravedad, entre los cuales pueden mencionarse los tanques deshidratadores; los eliminadores de agua libre, y los separadores de tres fases. Ninguno de ellos separa el agua del aceite; simplemente juegan un determinado papel en el proceso. En esta forma se logra eliminar hasta el 98% del agua contenida en el crudo, al eliminarse ésta el calor suministrado en las siguientes partes de la planta deshidratadora se reduce. El tiempo necesario para que las gotas de menor tamaño se asienten es uno de los factores de diseño más importantes. Esto puede ilustrarse me

dante la ley de Stokes.

$$V = \frac{2 g r^2 (D_2 - D_1)}{N}$$

Donde:

V : Velocidad de asentamiento de la gota

g : Aceleración de la gravedad

r : Radio de la partícula

D<sub>2</sub>: Densidad relativa del agua

D<sub>1</sub>: Densidad relativa del aceite

N : Viscosidad del aceite.

Al examinar esta ecuación se destaca el papel que juega la viscosidad y el tamaño de la partícula. La influencia de la acción química de los desemulsificantes, el calor y campo eléctrico, se describirán a continuación.

## 2.- Separación por Temperatura.

Adicionar calor favorece a todas las etapas de deshidratación, ya que acorta el tiempo de residencia de las partículas de agua a través de los siguientes efectos:

- a).- Reduce la viscosidad del aceite, lo que favorece la coalescencia de las gotas de agua y por consiguiente mejora la --

eficiencia de la deshidratación.

b).- Debilita ó rompe las películas entre el aceite y las gotas de agua, por expansión del agua.

c).- Aumenta el movimiento de las moléculas.

El calor puede ser aplicado a las diferentes etapas del proceso por: Serpentes de vapor, cambiadores de calor en contra corriente y cámaras de fuego directo e indirecto. Como limitación a la adición de calor en los procesos de deshidratación se tiene el efecto de evaporación que éste produce en los hidrocarburos de baja densidad (fracción ligera), las cuales tienen alto valor comercial. Por lo general, es mejor utilizar más reactivos y menor calor, para evitar esta evaporación, por el excesivo calentamiento.

Por otro lado, la adición de calor está limitada por razones de economía, en pruebas de laboratorio se ha comprobado que para un incremento de temperatura ( $22^{\circ}\text{C}$ ), se tiene un beneficio considerable pues se duplica la velocidad de asentamiento, si el radio de la partícula se aumenta de 10 a 100 micras para esta misma temperatura implica que la velocidad de asentamiento aumente considerablemente aproximadamente en 47 veces.

Esto se puede observar en la ecuación de Stokes, ya que el -

radio de la partícula aparece elevado al cuadrado. Lo anterior sugiere que deben buscarse, otros medios para aumentar el tamaño de las partículas, sobre todo cuando son de radio menor de 10 micras.

### 3.- Empleo de Productos Químicos.

La adición de compuestos desemulsificantes, formados con varios productos químicos, tales como glicoles, y resinas polioxialquilenicas, en la deshidratación de crudo tiene como finalidad acelerar la separación de agua del aceite. Lo anterior se logra con la propiedad que tienen ciertos agentes químicos de reducir la tensión interfacial, y con ello facilitar la coalescencia o choque de las gotas.

Estos productos están formados por substancias hidrófilas (grupo soluble en agua) y lipófilas (grupo soluble en aceite) que al mezclarse con el crudo pasan a formar parte de la película de aceite que cubre las gotas de agua, ayudando a romper las emulsiones que se forman al estar en fase líquida el agua y el aceite.

Otra propiedad deseable en un desemulsificante es la capacidad de humedecer los sólidos presentes en la emulsión, para que sean incorporados en el agua separada. La adición del reactivo debe hacerse en un punto desde el cual la difusión garantice un contacto íntimo entre el producto y las gotas de agua en dispersión.

Puede inyectarse en el fondo del pozo, en el cabezal del pozo, - en la batería de recolección o en la planta deshidratadora.

#### 4.- Separación Electroestática.

El principio básico de la coalescencia electrostática, es debida a que la composición de la molécula de agua, formada por una parte de oxígeno (componente negativo) y dos partes de hidrógeno -- (componente positivo), juntos estos elementos con un ángulo de  $105^\circ$ , forman un dipolo, el cual responderá al aplicarle un campo eléctrico.

Bajo la influencia de un campo eléctrico se modifica la tensión superficial de cada gota, debido a que las gotas son polarizadas y se orientan por sí mismas. Esta reorientación debilita las películas interfaciales de las gotas al expanderse por las atracciones polares, bajo este mecanismo, se hace menos estable y coalescen fácilmente, llegando a ser suficientemente grande para alcanzar la separación por gravedad, esto se muestra en la (fig. IV.13).

#### IV.8.- Selección del Proceso y Equipo.

##### 1.- Selección del Proceso.

El tratamiento de las emulsiones se realiza en dos etapas básicas.

a).- En la primera etapa se realiza la deshidratación, donde el -

contenido de agua se reduce de 1 a 2 %.

Un diagrama del proceso de deshidratación se presenta en la (Fig. IV.14), en donde se incluyen:

- 1).- Eliminación del agua libre para que los volúmenes en el proceso se reduzcan, además evita el desperdicio de calor (se requiere de 350 BTU para elevar la temperatura de un barril de agua 1° F, es decir, aproximadamente el doble que el requerido por el aceite).
  - 2).- Cambiador de calor, donde se aprovecha el calor del aceite tratado, que lo cede para precalentar el crudo de entrada.
  - 3).- Calentamiento para alcanzar la temperatura de proceso seleccionada.
  - 4).- Unidad de deshidratación donde el contenido de agua se reduce de 2.0 a 0.2% de agua.
- b).- La segunda etapa se realiza el desalado del crudo, donde se inyecta agua dulce o poco salada que disminuye la concentración de sal del agua remanente de 0.4 a 0.2%, dependiendo de los factores siguientes:
- 1).- La salinidad del agua residual.

- 2)- El porcentaje de agua remanente después de la etapa de deshidratación.
- 3)- La salinidad del agua de dilución.
- 4)- Eficiencia del mezclado del agua de dilución con la emulsión.
- 5)- Contenido de sal requerido al final del tratamiento.

Generalmente esta etapa requiere de un reactivo químico, la adición de calor y el empleo de coalescedores electrostáticos.- La deshidratación y desalado de crudo debe combinarse, aunque no siempre en la misma planta, para mantener el agua y la sal dentro de especificaciones dadas.

Los valores máximos generalmente aceptados son: 1.0% de agua y 100 LMB (Libras por cada m<sup>3</sup> barriles) para manejarse en oleoductos de 10 LMB para refinación ó explotación, En la (Fig. IV.15), se muestra el diagrama del proceso de deshidratación y desalado de crudo.

## 2.- Selección del Equipo de Tratamiento.

Existen varios diseños empleados en el tratamiento del crudo, que posteriormente se describirán las características de operación de los eliminadores de agua libre, calentadores, tanques deshidratadores, tratadores termoquímicos convencionales etc.

En la selección del equipo deben tomarse en cuenta los siguientes aspectos:

- a).- Contenido residual de agua y sal del crudo tratado.
- b).- Contenido de agua del crudo a tratamiento.
- c).- Estabilidad de la emulsión agua/aceite.
- d).- Densidad y viscosidad del crudo.
- e).- Variaciones en el volumen por tratar.
- f).- Tendencia corrosiva o incrustante del agua emulsificada.
- g).- Conductividad eléctrica del aceite.
- h).- Tendencia a depositar parafinas y asfaltenos.
- i).- Temperatura de los fluidos.
- j).- Ritmo de declinación de la producción del campo.
- k).- Operabilidad del equipo.
- l).- Inversión inicial.
- m).- Costos de operación y mantenimiento.
- n).- Valor de rescate.
- ñ).- Versatilidad de la instalación.
- o).- Tiempo de entrega.
- p).- Tiempo de instalación.
- q).- Eficiencia del equipo.
- r).- Tiempo de proceso.
- s).- Consumo de reactivo desemulsificante.

#### IV.9.- Descripción del Equipo Utilizado en la Deshidratación y Desalado de Crudo.

El equipo empleado en las plantas deshidratadoras, debe estar dimensionado de acuerdo a los volúmenes que va a manejar, a las características del aceite, a los porcentajes de agua y al grado de estabilidad de la emulsión del crudo.

A continuación se describen las partes que integran una planta de deshidratación.

##### 1.- Tanques de Almacenamiento.

Los tanques de almacenamiento proporcionan el tiempo de asentamiento a la emulsión. La emulsión puede entrar al tanque a través de un conducto exterior, separador de gas ó de un tanque deshidratador.

Los fluidos del pozo son distribuidos en el fondo del tanque por medio de un esparcidor formado de cuatro secciones ranuradas, con los extremos obturados a fin de lograr una distribución radial uniforme en el fondo del tanque.

Se debe de apuntar que este sistema de conexiones no provee la conservación necesaria de productos ligeros, ni tampoco de un medio filtrante.

En la (Fig. IV.16), se muestra un tanque de asentamiento así co--

mo sus partes.

## 2.- Eliminadores de Agua Libre.

La función de estos eliminadores es la de remover altos porcentajes de agua libre, antes que la emulsión entre a tratamiento.

En el eliminador, la producción entra por un conducto central cuyo extremo queda en la fase acuosa, la emulsión asciende y el agua se asienta en el fondo donde es drenada.

La salida de la emulsión se encuentra en la parte superior, estos eliminadores de agua libre se colocan antes de los calentadores de tratamiento, con el fin de evitar que el agua libre consuma el calor que debe ser absorbido solamente por la emulsión.

El diseño y operación es muy simple, aunque resultan muy útiles, rara vez se usan en nuestro medio.

Su aplicación en baterías que manejan porcentajes de agua, del 20% o más. En la (Fig. IV.17), se muestra un eliminador de agua libre.

## 3.- Equipo de Calentamiento.

La más común aplicación de calor, en el tratamiento de las emulsiones de petróleo se efectúa a través de calentadores de fuego directo, indirecto y eléctrico.

En el primer tipo, se utiliza en el tratamiento de emulsiones no corrosivas, la cual se pone en contacto con el elemento calentador u horno. Comparativamente los calentadores de fuego directo calientan un mayor volumen de aceite por unidad de gas combustible.

Existen varios diseños de calentadores de fuego directo, siendo estos tubulares, de horno interno y volumétricos.

- Calentador Directo.

a).- Calentador tipo tubular, que está constituido de tubos ( 2 a 4"  $\phi$  ), suspendidos dentro del horno a fuego directo, es frecuente que algunas estén sujetas a temperaturas mayores, y sean sensibles a la corrosión y al obturamiento, principalmente si el flujo es intermitente. Por lo tanto se recomienda utilizar este tipo de calentador en flujo permanente, presiones bajas, y donde el aceite y el agua producidos tengan poca tendencia al depositamiento de carbonatos al calentarse.

b).- Calentador de horno interno, está constituido de un recipiente horizontal a presión con horno interno removible. La emulsión no corrosiva de flujo constante entra al calentador a través de un tubo distribuidor colocado debajo del horno, y sale por la parte superior del recipiente de calentamiento. El tubo distribuidor actúa como un esparcidor y evita el so-

brecalentamiento que se produce en algunas secciones, debido a la permanencia de la emulsión en el calentador, en la (Fig. IV.18), se ilustra este tipo de calentador.

c).- Calentador tipo volumétrico, está constituido de una cámara de peso considerable, normalmente llena de agua caliente, - cuando la emulsión ligeramente corrosiva de flujo permanente o intermitente entra a la cámara a través del tubo distribuidor por debajo del horno, ésta se lava con el agua caliente, lo cual acelera el rompimiento de la emulsión y sale por la parte superior de la misma. La función del agua contenida en la cámara es para regular las fluctuaciones de temperatura, se muestra en la (Fig. IV.19), este tipo de calentador.

#### - Calentador Indirecto.

Consta de tres partes principales: El cuerpo, el horno y el haz de tubos de flujo, estos dos últimos elementos son removibles y se facilita su mantenimiento.

Los calentadores indirectos son menos peligrosos de operar, debido a que el haz de tubos no está expuesto al calor directamente y la temperatura más alta que se alcance, no será mayor que la del agua de calentamiento, controlada mediante un termostato, -- evitándose los agrietamientos en los tubos, este tipo de calentador se ilustra en la (Fig. IV.20).

- Calentador Eléctrico.

El incremento en los precios del crudo y gas natural ha traído como consecuencia el empleo de calentadores eléctricos, que además del ahorro en combustible ofrecen las siguientes ventajas:

- a).- Mayor eficiencia por la flexibilidad de colocar el número -- adecuado de serpentines dentro del elemento eléctrico para cada caso particular. La transferencia de calor del serpen- tín al fluido es mayor al no presentarse picadura en los tu- bos.
- b).- El mantenimiento es menor que el del equipo operado por gas.
- c).- Se cuenta con alta seguridad al no tenerse flama abierta.

- Cambiadores de Calor.

Este equipo es similar al calentador de fuego, y está formado por un recipiente atravesado por un conjunto de tubos, que por su in- terior circula aceite caliente, y en la envolvente el crudo por - calentar.

4.- Tanques Deshidratadores (gun barrels).

En general, los tanques deshidratadores están constituidos de cin-

co partes principales, cada una de las cuales sirve para uno ó varios propósitos específicos.

a).- La línea de entrada; es el tubo que conduce la emulsión del separador al tanque deshidratador.

b).- El tubo conductor, a través del cual pasa la emulsión antes de entrar al fondo del tanque deshidratador, tiene tres propósitos principales.

1.- Separar el gas de la emulsión y reducir la turbulencia -- dentro del cuerpo del tanque deshidratador.

2.- Sirve como sección de amortiguamiento al reducir la presión de entrada de la emulsión.

3.- Permite a la emulsión distribuirse uniformemente a través del colchón de agua de lavado, mediante un esparcidor situado generalmente en el fondo del tubo conductor.

c).- El cuerpo del deshidratador, el cual tiene un colchón de agua que sirve de lavado a la emulsión, permite que éste permanezca el tiempo necesario para alcanzar la separación de aceite y el agua.

d).- La línea de salida del agua, constituida por un sifón.

Esta línea tiene dos propósitos; proporcionar una salida para el agua separada, y regular la altura del colchón de agua en el deshidratador.

e).- La línea de salida del aceite, que conduce el aceite limpio del tanque deshidratador a los tanques de almacenamiento.

El proceso que se lleva a cabo en un tanque deshidratador es de lavado y asentamiento, el lavado ocurre en el colchón de agua; el asentamiento se realiza en el estrato de emulsión, la altura del colchón es variable de acuerdo al tipo de emulsión.

En la (Fig. IV.21), se puede observar este tipo de tanque deshidratador.

El sistema de descarga del agua en los tanques deshidratadores está constituido por un sifón, ver (Fig. IV.22), que funciona de la siguiente manera:

El agua pasa a través de un tubo conductor y asciende hasta entrar en un tubo ajustable. La altura de la interfase se puede modificar cambiando la altura de este tubo ajustable.

Por lo tanto, cualquier flujo del tratador al sifón depende solamente de los niveles mantenidos en el tratador, inicialmente, la altura de la columna "A" en el tubo ajustable, será tal que su peso -

por unidad de área es igual a los pesos combinados por unidad de área del aceite y el agua en el deshidratador. Puesto que el agua es más pesada que el aceite, una columna de agua menor, equilibra una columna de agua "B" y de aceite "C".

Subiendo el tubo ajustable se elevará la interfase aceite-agua, al llegar a la cima del tubo ajustable el agua se derrama a un tubo de descarga en el cual, al alcanzarse una determinada carga hidrostática se opera una válvula de descarga, que permite la salida del agua excedente, repitiéndose continuamente el ciclo.

#### 5.- Tratadores Convencionales.

Dentro de este grupo se encuentran las unidades de tratamiento termoquímico y Electroquímico.

##### a).- Tratamiento Termoquímico.

Son unidades que proporcionan, por sí solas, asentamiento, calor, agitación, etc., a la emulsión de que se trate. La emulsión entra en (1) y pasa a la sección (2) de precalentamiento, en la sección (3) se separa el agua libre, la emulsión asciende por (4) y se canaliza por la sección (5) donde se desgasifica totalmente, efectuándose en (6) el calentamiento de la emulsión desgasificada y el asentamiento del agua.

En (7) se remueve el agua separada; en (8) está el controlador de la presión diferencial.

La emulsión pasa a una sección de coalescencia (9) para lograr la remoción efectiva de restos de agua del aceite. En (10) se descarga automáticamente el agua; en (11) el aceite termina de limpiarse antes de salir a almacenarse, en la (Fig. IV.23), se muestra este tipo de tratador.

b).- Tratamiento Electroquímico.

Consiste de una cámara hermética, un circuito eléctrico (transformador) para controlar el voltaje y equipo auxiliar (controladores del nivel de la interfase). La emulsión entra al deshidratador donde se calienta, luego pasa a la sección de separación electrostática, en donde el campo eléctrico separa las dos fases.

El agua separada se drena de manera continua por el fondo y el aceite tratado sale por la parte superior. Los electrodos utilizados en estos tratadores, se diseñan de acuerdo con las características de la emulsión que pasa a través del campo eléctrico.

1).- Electrodos para baja velocidad.

Consisten en dos electrodos horizontales paralelos, formados por

una serie de anillos concéntricos suspendidos por soportes aislados, entre los cuales se establece una diferencia de potencial. - Un distribuidor reparte la emulsión en el deshidratador debajo de los electrodos, pasando la emulsión lentamente a través del campo eléctrico, donde las partículas de agua coalescen y caen, donde posteriormente son drenadas.

Este tipo de electrodos es recomendable para emulsiones que tienen baja conductividad eléctrica, y para aceites pesados que por su alta viscosidad requieren de tiempo de residencia mayor para alcanzar una buena separación del agua.

## 2).- Electrodos para alta velocidad.

El sistema de electrodos para altas velocidades, se utiliza con aceites ligeros de baja viscosidad y con emulsiones que tienen una alta conductividad eléctrica, teniendo la misma construcción que el anterior tipo de electrodos, solo que consume menos energía eléctrica. La emulsión se reparte en la sección eléctrica mediante un distribuidor, que la obliga a pasar varias veces a través del campo eléctrico.

La (Fig. IV.24), muestra un esquema de un tratador de este tipo, - la temperatura de tramiento adecuada para este tipo de tratadores se determina con la (Fig. IV.25), en función de la densidad del crudo.

#### IV.10.- Problemas de Tratamiento.

Para garantizar la eficiencia de una planta de tratamiento en operación, es necesario que los diversos factores que intervienen -- (calor, desemulsificante, agitación, la electricidad y el tiempo de asentamiento) estén balanceados entre sí.

Por consecuencia, si uno de éstos componentes se modifica, otro deberá cambiarse también, a fin de reestablecer el balance.

Por consiguiente si el programa de tratamiento se mantiene balanceado, y la eficiencia disminuye puede suponerse que la emulsión se ha modificado de alguna manera, estos cambios significativos -- ocurren en forma poco frecuente y cuando se presenta lo hacen en forma lenta, a la introducción de una nueva corriente (de un nuevo pozo ó uno ya reparado). Sin embargo, los cambios pueden también ser resultado de fallas de operación, que se presenten causando problemas en la planta de tratamiento.

Los problemas más frecuentes así como sus correcciones son las siguientes:

1.- Cuando un tratador mantiene su temperatura y opera correctamente, pero el contenido de agua del aceite tratado es elevado.

a).- Ajustar la dosificación del reactivo.

b).- Cambiar el reactivo por otro más eficaz.

2.- Cuando un tratador no conserva la temperatura en el nivel deseado.

a).- Revisar los termómetros y termostatos.

b).- Asegurarse que es adecuada la combustión en el horno.

c).- Verificar el volumen producido de aceite y agua, junto con sus temperaturas de entrada y salida. Si el calor requerido es mayor que el que puede proporcionar el horno, el tratador está sobrecargado, si esto sucede, hay dos soluciones; primero, un cambio de reactivo puede proporcionar una separación más rápida del agua libre en el tratador; y segundo, la instalación de un eliminador de agua libre puede reducir la cantidad de calor.

En el caso del tratador no sobrecargado, se inspecciona si existe una depositación interna de hollín o de sales.

3.- Cuando se encuentran fallas frecuentes en la luz piloto de los tratadores electroquímicos.

a).- Asegúrese que la línea que suministra gas al piloto, esté operando adecuadamente.

4.- Cuando aumenta la altura de la interfase aceite-agua en los --

deshidratadores.

- a).- Verificar la operación de la válvula de descarga de agua.
- b).- Comprobar que dicha válvula y el sifón no presentan incrustaciones.
- c).- Verificar la presión de descarga del drene, ya que pudiera generarse una contrapresión en la línea de descarga - (en el caso de que ésta agua se envíe a una planta de tratamiento).
- d).- Observar si existe acumulación de sedimentos en el fondo, el cual puede impedir el flujo dentro del sifón.

5.- Cuando disminuye la altura de la interfase aceite-agua en los deshidratadores.

- a).- Verificar si la línea de salida de aceite no se encuentra taponada.
- b).- Comprobar la temperatura de tratamiento.

6.- Cuando el sistema se ha revisado y los niveles están controlados, pero el tratamiento no es completamente eficiente.

- a).- Comprobar si no se ha formado espuma, y ésta es arrastrada por la línea de salida de los gases, para este caso se requiere un serpentín para precalentamiento.
- b).- Comprobar que en la sección de gas no hay canalización de aceite.

7.- Cuando los intercambiadores de calor operan deficientemente.

- a).- La causa más común es por efecto de la corrosión, la --  
cual forma agujeros que comunican la línea de corriente  
sucia de entrada con la corriente limpia de salida.
  
- b).- La acumulación de sólidos ó depósitos reducen la eficien-  
cia de separación en los tanques de tratamiento, la acu-  
mulación de sólidos puede detectarse sintiendo la dife-  
rencia de temperatura de la lámina alrededor del fondo.

8.- Las fallas más comunes en los tratadores electrostáticos.

- a).- Se presentan al ocurrir fallas en el suministro de ener--  
gía eléctrica, esta situación puede detectarse mediante  
la observación de la luz piloto.
  
- b).- La acumulación de material sólido en la interfase agua-  
aceite, el cual puede generar un corto circuito, en este  
caso debe disminuirse la altura de la interfase para que  
la operación del deshidratador vuelva a la normalidad.

Si el mal funcionamiento de un tratador, no se corrige -  
de la manera descrita, la detección de la falla se efec-  
tuará a través de una minuciosa inspección del circuito  
eléctrico.

El agente químico y el equipo de tratamiento combinados

son las claves para la resolución eficiente y económica de las emulsiones en el campo.

C A P I T U L O V

SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE DESECHO

## V. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE DESECHO

El objetivo principal de un sistema de tratamiento, es la de reducir el contenido de contaminantes que presente el agua de desecho, de las instalaciones de deshidratación.

Esta agua viene acompañada por un sin número de diferentes sustancias, tanto disueltas como en suspensión, siendo éstas aceite, gas sulfhídrico, sales disueltas, sedimentos, etc., que hacen muy difícil su tratamiento, para ello el equipo debe ser diseñado tomando en cuenta las concentraciones y variaciones que se tengan de ellos para caracterizarlos, respecto al tiempo y así garantizar que las aguas desechadas no afecten al ecosistema del cuerpo receptor.

### V.1.- Contaminantes Comunes en las Aguas de Desecho.

#### 1.- Fenoles.

Compuesto orgánico que imparten un desagradable olor y sabor medicinal al agua, pueden detectarse desde un rango de 50 - 100 ppb<sup>++</sup>, los fenoles tienen una demanda de oxígeno de 2500000 ppm, así cada una de las ppm de fenol en una agua de desecho genera 2.5 ppm de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno, que es la estimación de oxígeno requerido para estabilizar los materiales orgánicos biodegradables contenidos en un desecho, mediante una población microbiana heterogénea una vez aclimatada). Los fenoles son tóxicos a los peces en una concentración mayor de 10 ppm, en valores de 0.02 a 2 ppm los fenoles pueden descargarse sin contaminar.

<sup>++</sup> ppb. Partes por billón (mil millones).

## 2.- Metales Tóxicos.

Los iones pesados de un metal son tóxicos, para la fauna y flora acuática, incluyendo las bacterias, a continuación se dará una tabla de los rangos de concentración de los metales tóxicos así como de compuestos inorgánicos.

CONCENTRACION TIPICA	COMPONENTES
Miles de ppm	Na, Cl
a veces > 300 ppm	Ca, Mg, SO <sub>4</sub>
>50 ppm	K, Sr
1 a 50 ppm	Al, B, Ba, Fe, Li
ppb (en la mayoría de las aguas producidas)	Cr, Cu, Mn, Ni, Sn
	Ti, Zr, Be, Co, Pb.

Se ha llegado a reportar la existencia de dos compuestos bastantes tóxicos (Hg y Cd) en el efluente de unidades de producción, aunque se tuvieron en niveles por debajo de los mínimos detectables - - - (Hg < 0.5 ppb y Cd < 50 ppb). El rango de concentración máxima permisible en la tabla es de 5 ppm.

## 3.- Sólidos Disueltos.

Las razones para limitar el contenido de sólidos son:

a).- Una elevada cantidad de sólidos puede impartir olores y sabo-

res indeseables.

- b).- Los sólidos disueltos tienen tendencia a precipitarse, si el pH cambia.
- c).- Los sólidos disueltos dificultan el empleo del agua.

#### 4.- Sólidos suspendidos.

Estos componentes modifican el color y la turbidez del agua, los sólidos suspendidos producen los efectos siguientes:

- a).- Disminuyen la penetración de la luz y como consecuencia retardan la fotosíntesis, reduciendo la producción de oxígeno.
- b).- Dañan la fauna y flora acuática.
- c).- Se depositan en el fondo de las corrientes obstaculizando la vida del fondo.

#### 5.- Aceite.

La contaminación del agua por grasa, aceite y otros líquidos orgánicos no miscibles, puede producir explosiones e incendios. También produce los siguientes efectos.

- a).- Coloraciones y olores desagradables.
- b).- Formación de capas superficiales que bloquean la absorción de

oxígeno atmosférico y retarda la fotosíntesis del oxígeno.

c).- Destrucción de microorganismos (Plankton y Bentónico) vitales para la cadena alimenticia en el mar.

d).- Inutilización de las corrientes de agua para la natación y la recreación.

#### 6.- Cianuros.

Son muy tóxicos, la mayoría de las corrientes de agua no toleran más de 0.1 ppm, los cianuros son fácilmente hidrolizados a gas ácido cianhídrico, el cual constituye un peligro para el ser humano. Generalmente, los efluentes de desecho se limitan a 0.2 ppm de cianuro.

#### 7.- Sulfuros.

El sulfuro de hidrógeno es tóxico, corrosivo y causa un olor y sabor muy desagradable. Es letal para la fauna acuática en cantidades mayores de 1 ppm, éstos sulfuros, además de ser fuertes reductores, generan una demanda de oxígeno que reduce bruscamente el contenido de ese gas en el agua.

#### V.2.- Legislación Sobre Protección del Ambiente.

El control de la contaminación tanto en tierra como en el mar, es-

tañ dado por las leyes y las medidas administrativas aplicables a los recursos hidráulicos continentales.

Estas técnicas legislativas varían considerablemente dependiendo de la fuente de donde provengan la contaminación (Doméstica e Industrial).

En nuestro país existe y está actualmente en vigor la ley Federal para Protección del Ambiente, cuya acción compete principalmente a la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, el cual cuenta con un reglamento para prevención y control de la contaminación de aguas (artículos 24 y 70).

El reglamento citado, en forma general se enfoca en dos aspectos fundamentales.

- 1.- Prevenir la contaminación de todas aquellas aguas del país que aún guardan sus características naturales, tratando de aprovechar al máximo su capacidad de asimilación ó dilución de contaminantes, de tal manera que no se altere su calidad, según el uso que se haga o se pretenda hacer de ellas.
- 2.- Controlar la contaminación de las aguas de aquellos cuerpos -- receptores cuya calidad se ha deteriorado, con el fin de que -- con la ayuda de todos los sectores interesados, readquieran -- gradualmente la calidad necesaria para el uso que se hace de --

ellas.

Características de calidad del agua residual, referente al Artículo 13 del reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas.

Sólidos Sedimentables	máx. 1.0 ml/l
Grasas y Aceites	máx. 70 mg/l
Materia Flotante	Ninguna que pueda ser retenida por malla de 3mm de claro libre cuadrado.
Temperatura	máx. 35°C
pH	6.5 a 8.5

En los Estados Unidos existen una serie de legislaciones para salvaguardar el ambiente, los que han surgido en base a los trabajos de investigación y de adopción de las tecnologías de operación más modernas.

Con respecto a la contaminación y eliminación de desechos, se mencionan aspectos como:

- 1.- No se permite arrojar aceite a cuerpos receptores.
- 2.- No se permite tirar recortes de perforación que contengan aceite a menos que éste sea eliminado.

3.- Sólidos de otro tipo que se generen en plataforma deben --  
transladarse a la costa para darles tratamiento.

4.- Se deben inspeccionar periódicamente las plataformas para --  
ver si existen en ellas posibles fuentes de contaminación.

Sobre el tema de tratamiento de Agua de Desecho se dan las -  
recomendaciones principales que son:

1.- Todos los sistemas para el tratamiento de agua residua--  
les deberán diseñarse de tal forma que el contenido de -  
aceite en el agua que se descarga no sea mayor a un pro-  
medio de 50 ppm.

2.- Muestrear 4 veces al mes durante un período de 24 horas,  
así como mediciones de pH, temperatura, sólidos sedimen-  
tables, sólidos suspendidos, contenido total de aceite y  
volumen total de la muestra.

3.- Los drenajes después del tratamiento deben contener 50 -  
ppm de DBO, 150 ppm o menos de sólidos suspendidos y te-  
ner un contenido de cloro residual de 1 mg/l después de  
un tiempo de residencia mínimo de 15 minutos.

4.- Los lodos de perforación base agua que están libres de -  
aceite pueden arrojarse al mar, los que estén contamina-  
dos con aceite emulsionado deberán lavarse antes de ser  
eliminados.

5.- Los lodos de perforación base aceite ó tipo emulsión inversa deben ser colectados y almacenados para llevarlos a la costa y ahí darles tratamiento.

### V. 3.- Disposición de Sólidos y Líquidos durante la Explotación y Producción en el Mar.

La disposición se puede clasificar en dos grupos: la programada y la accidental.

La primera se produce como consecuencia de una operación normal, en la cual las descargas deben de adaptarse a las condiciones -- del ambiente, y a los reglamentos en vigor, entre éstas podemos mencionar: recortes de perforación, lodos de perforación (base - agua ó aceite), lodos de cementación, desechos de una estimula-- ción ácida, productos de separación provenientes de etapas de - producción.

La segunda, la cual se origina de un evento excepcional e impre-- decible, para la que es necesario preparar planes de contingen-- cia debidamente implementadas para poder controlar sus efectos, - según sea la magnitud del suceso, entre las posibles tenemos: -- descontrol de pozos, fugas en (conexiones, equipos, tubería de - producción, tanques de almacenamiento, etc.).

- Disposición Programada.

1.- Recortes de Perforación.

Debido a su naturaleza inerte, este tipo de materiales puede desecharse directamente al mar, excepto los impregnados con hidrocarburos, los cuales deben ser lavados con el equipo -- apropiado antes de descargarlos, el cual consiste de un tubo vertical inmerso en agua, como se muestra en la (Fig. V.1.), a través del cual los recortes se descargan al mar después -- de lavarse con solvente y agua, además consta de cribas vi-- bradoras y de boquillas por donde el solvente es atomizado -- sobre los recortes de perforación, el exceso de solvente se recircula a un depósito y se vuelve a utilizar, continuando con el proceso, los recortes son lavados con agua de mar y -- esta corriente de recortes, solventes y agua de mar se des-- carga en el tubo vertical.

El aceite y el solvente que flotan en el tubo vertical se -- bombea a un separador, donde el solvente se manda a la criba vibradora y el aceite al tanque de recuperados.

2.- Lodo de Perforación Base Agua.

Este lodo es una suspensión de arcilla y barita en agua, ya sea dulce ó salada.

Los aditivos no constituyen un riesgo de contaminación, por lo que este lodo se desecha usualmente al mar.

3.- Lodo de Perforación Base Aceite.

Estos lodos se utilizan para formaciones que presentan inestabilidad del agujero, derrumbes, flujo por mantos salinos, corrosión y altas temperaturas. Los recortes pueden ser lavados ó bien incinerados para descargarse al mar, ó también almacenarse y transportarse a tierra, en donde pueden ser incinerados ó tratados.

4.- Aceite.

El aceite que se produce en las pruebas de producción de un pozo debe quemarse en plataforma ó bien transportarse a tierra y darle el mismo fin.

5.- Lodo de Cementación.

Este lodo se produce cuando hay un exceso del mismo al efectuar la operación de cementación, generalmente este lodo se desecha al mar debido a que por su naturaleza no presenta riesgo de contaminación.

6.- Desechos de una Estimulación Acida.

Este desecho, por ser ácido sulfúrico el que se emplea en esta operación, presenta características contaminantes, por lo cual debe colectarse en recipientes apropiados y transportarse a tierra para su disposición.

#### 7.- Productos de Separación.

Consisten principalmente de agua de formación obtenida en la etapa de producción, esta agua no puede descargarse directamente al mar, debido a su contenido de aceite, a menos de que sea tratada con anterioridad, como se verá posteriormente.

#### - Disposición Accidental.

##### 1.- Descontrol de Pozos.

Son de consecuencias graves tanto para la seguridad humana, como para el ambiente, afortunadamente éstos eventos no ocurren muy a menudo.

Una de las formas para prevenir y controlar éstos, es contando con el personal capacitado, así como también del equipo y material adecuado disponible para estos casos de descontrol.

##### 2.- Fugas.

Estos son por lo general de menor consecuencia, debido al me-

nor volumen que se fuga, teniendo sus orígenes en rupturas - de tanques, líneas, separadores ó fugas en conexiones, existen planes de mantenimiento preventivo y de contingencia para las fallas imprevistas.

#### V.4.- Generalidades de los Sistemas de Tratamiento y Efluentes.

La clasificación de los tratamientos de agua de desecho es el siguiente:

- 1.- Un Pretratamiento.
- 2.- Tratamiento Primario
- 3.- Tratamiento Secundario.

1).- El pretratamiento está constituido esencialmente por los siguientes procesos físicos.

- Separación del aceite en tanques.
- Remoción de partículas arenosas.

2).- El tratamiento Primario lo constituyen procesos físicos y químicos, siendo estos los separadores gravitacionales tipo A.P.I. ó separadores de placas corrugadas y celdas de flotación con aire.

3).- El tratamiento Secundario tiene por objeto disolver el mate-

rial orgánico y remover los sólidos suspendidos, los cuales constituyen las presas de asentamiento y lagunas de oxidación.

En esta clasificación se observan dos tendencias de tratamiento a seguir, es decir, aquellos procesos cuyo objetivo va encaminado a eliminar sólidos suspendidos y aceite y los que proveen un tratamiento de oxidación biológica, esto fue realizado por un análisis completo del agua de desecho, para poder seleccionar correctamente esta secuencia a seguir, como se observa en la (Fig. V.2.).

A continuación se dará una explicación de los tratamientos, de mayor significado de acuerdo a lo dicho anteriormente, así como también una descripción del equipo.

#### V.4.1. Tratamiento Primario.

Se tienen dos tipos de separadores primario y secundario, el primero es utilizado para la eliminación de aceite no emulsionado y sedimentable, es decir, aceite libre como ejemplo de éstos se tienen los separadores de A.P.I., separadores de placas corrugadas y el segundo para aceite emulsionado, se tiene las celdas de flotación con aire.

##### 1.- Separador A.P.I.

Estos separadores aprovechan el principio elemental de separa

ción, siendo ésta la fuerza de gravedad, así como también --  
aprovechan la diferencia de densidad relativa existente en--  
tre aceite y agua.

Otros parámetros importantes que tienen influencia primor--  
dial en el buen funcionamiento del separador son la veloci--  
dad de flujo (baja), el tiempo suficiente de asentamiento de  
los sólidos, tamaño de las gotas de aceite, la temperatura -  
del agua, así como también la cantidad y característica de la  
materia en suspensión presente en el desecho.

La mayoría de los separadores por gravedad consisten de dos -  
o mas canales paralelos que manejan el flujo de agua aceito--  
sa, proporcionando una velocidad adecuada de flujo, tanto pa--  
ra la separación de aceite, como para la sedimentación de só--  
lidos, permitiendo además la continuidad de la operación de -  
limpieza o inspección a dichos canales.

## 2.- Separador de Placas Corrugadas.

En este sistema se hace que el agua de desecho entre a una --  
velocidad menor que 1 pie/seg, permitiendo con esto a las -  
partículas de arena a sedimentarse (flujo laminar), acumulán--  
dose en el fondo para ser eliminados.

Por otra parte el aceite que flota se elimina en la superfi-

cie por medio de un desnatador, este equipo puede usarse a --  
continuación de un separador A.P.I., con el fin de reducir --  
los niveles de concentración de aceite que se obtienen por --  
una separación por gravedad; o bien instalarse en paralelo pa--  
ra reducir la carga hidráulica, para mejorar la capacidad de  
eliminación de aceite del sistema.

A continuación se da la capacidad relativa de los separadores  
A.P.I. y placas corrugadas para una corriente conteniendo - -  
2000 ppm de aceite en el efluente.

SEPARADOR	(ppm ACEITE DESCARGA)	M <sup>2</sup> DE AREA SUPERFICIAL
A.P.I.	100	930
Placas corrugadas	20	186

Se observa que alternativamente, para un contenido de aceite  
dado en la descarga, el separador A.P.I., requiere 4 veces -  
de área superficial.

### 3.- Celdas de Flotación con Aire.

Al utilizar el equipo de celdas de flotación con aire se ob--  
tiene un desecho con bajo contenido de aceite (200 a 10 ppm),  
el cual no se conseguía por medio de los separadores por gra--  
vedad, en el que los aglomerados de aceite y sólidos cuya --  
densidad se aproximaba a la del agua.

El desecho a tratar en un equipo de éstos, debe haberse tratado previamente en un separador por gravedad para eliminarle la mayor cantidad de aceite posible.

Dentro de los equipos de flotación tenemos dos tipos básicos.

- a).- Flotación por aire disuelto
- b).- Flotación por aire inducido.

- 1.- Flotación por aire disuelto: Es un proceso convencional (unidad abierta), en el cual se generan burbujas de aire para flotación, disolviendo primeramente aire a presión en el desecho, y posteriormente depresionando de tal forma que el aire se libere de la solución en forma de diminutas burbujas, las cuales hacen flotar aceite y/o sólidos a la superficie del agua de desecho, en donde son desnatados, se emplean productos químicos flocculantes como es el polielectrolito orgánico o sulfato de aluminio, con el objeto de aumentar la eficiencia de la flotación.
- 2.- Flotación por aire inducido: Es un proceso de (Unidad cerrada), en donde una corriente de aire se inyecta en uno o varios puntos de la cámara de flotación, con lo cual se produce la liberación de burbujas de aire que arrastran las partículas suspendidas a la superficie en donde son desnatadas.

Se pueden utilizar productos químicos, si las características del desecho así lo justifican para mejorar la -- efectividad del proceso.

Los factores que tienen una influencia directa en la formación del floculo son: temperatura, dosis de floculante, pH y tiempo de contacto. La efectividad de un proceso de flotación con aire, puede ser determinada con pruebas de laboratorio, ésta efectividad es directamente proporcional al volumen de gas liberado dentro de la celda, a diferentes gastos y presiones de operación.

#### V.4.2. Tratamiento Secundario.

La finalidad de los tratamientos secundarios, posteriores a la separación de aceite, deben reducirse a la eliminación por oxidación de las cantidades inevitablemente remanentes de aceite, compuestos fenólicos, sulfuros y materia orgánica.

Aunque los procesos con lodos activados, el cual consiste de un cultivo enriquecido microbiológicamente, en donde se desarrolla en -- dos etapas un sistema ecológico muy extensivo, a dicho sistema los microorganismos coexisten y compiten por el metabolismo de los nutrientes existentes, con el fin de estabilizar el agua de desecho.

Se ha considerado como el proceso biológico más confiable y eficiente en tiempo y superficie, que la oxidación natural en lagunas, pe--

ro requieren una mayor inversión en equipo y gastos continuos de --  
operación y mantenimiento lo que motiva mayor personal, debido a -  
todo esto, es por lo que las lagunas de oxidación, se estimen mas -  
económicas para este sistema el cual constaría de:

- a).- Presa de asentamiento.
- b).- Laguna de oxidación.

1.- Presa de Asentamiento.

Forma parte final del tren de tratamiento de agua de desecho,-  
la cual tiene como objetivo, retener aceite residual existente  
en las aguas de desecho y proporcionar el tratamiento continuo  
de estas, incluyendo el caso de fallas temporales de los siste  
mas de deshidratación o tratamiento a las aguas de desecho, se  
estima que una capacidad equivalente a 12 hrs. de operación de  
ficiente, debe ser suficiente para corregirla.

2.- Laguna de oxidación.

Laguna de oxidación o tanque de posesión son comunmente usados  
como tratamiento biológico, después del tratamiento primario, -  
para que pueda ser efectiva se requiere de una superficie gran-  
de, por lo tanto, las lagunas de oxidación son usadas solamente  
donde hay espacio disponible y el terreno es poco costoso.

Las lagunas de oxidación pueden ser:

- a).- Aerobias.- Donde la oxidación de los desechos utiliza oxígeno de la atmósfera, además del oxígeno producido en la fotosíntesis.
- b).- Anaerobias.- Donde la oxidación de los desechos no utilizan oxígeno.
- c).- Aereadas.- Donde la oxidación de los desechos utiliza oxígeno introducido de la atmósfera, por aereación mecánica ó por medio de difusores de aire.

En este estudio solo trataremos el caso de las lagunas de oxidación aerobias y aereadas, ya que son las más relacionadas con la industria petrolera.

Si se considera una laguna poco profunda, conteniendo bacterias (microorganismos) y algas, las bacterias utilizan oxígeno para oxidar bioquímicamente y degradar, la mayor parte del material disuelto y suspendido presente en el agua de desecho que lleguen a la laguna, ya que es una fuente de alimentación, y dentro de ésta se producirá  $H_2O$ ,  $CO_2$  y en ocasiones  $NH_3$ .

Las algas utilizarán la luz del sol, además de  $H_2O$ ,  $CO_2$  y el  $NH_3$  que ocasionalmente se forma, para producir oxígeno.

Este ciclo ó sistema ecológico también produce el crecimiento adicional de bacterias y algas. La descripción del ciclo aquí - dado, se muestra en la (Fig. V.3.).

En este proceso, las condiciones climatológicas principalmente la temperatura, afectan significativamente la selección del tratamiento biológico a emplearse en la eliminación de contaminantes. Cuando la temperatura ambiente es baja, la actividad de - los microorganismos disminuye haciéndose necesario reducir la - velocidad del sistema para evitar problemas en el funcionamiento de la unidad.

Por el contrario cuando el clima es cálido ó la temperatura del desecho a tratar es alta, se requieren áreas mayores, de tal - forma que se permita la pérdida de calor a la atmósfera, para - lograr una actividad biológica adecuada.

#### V.5.- Descripción del Equipo de Tratamiento.

##### 1.- Separador de Gravedad tipo A.P.I.

Con este nombre se conoce a una presa utilizada en la separa- - ción de aceite y agua, que consta de las siguientes partes:

Un cárcamo con una válvula de compuerta que controla el volumen de agua de desecho de entrada, con una cámara de distribución -

donde el fluido reduce su velocidad, siendo ésta lo más uniforme posible, con el fin de evitar agitación y turbulencia que - pudiera formar emulsiones en el agua de desecho, causando pérdida de tiempo en la separación del aceite, y en la parte inferior de una de sus caras tiene agujeros de comunicación con la cámara de asentamiento la que en un plano perpendicular al flujo cuenta con tubos verticales que impiden el paso de desperdicios. (piedras, polvos, arena, hule, estopa, empaques, etc.)

El fondo tiene forma de dos aguas invertido para acumular sedimentos los que son eliminados por una banda sin fin con paletas.

Al final de la cámara de asentamiento existe un tubo cortado en forma de canal el cual tiene movimiento vertical, cuyo objetivo es coleccionar el aceite que por gravedad se desprende del agua, el que es enviado a un cárcamo de bombeo.

Después del colector de aceite se encuentra una pared que tiene una salida controlada por una válvula que descarga a un cárcamo pequeño que cuenta con un vertedor que tiene como finalidad mantener el espejo de agua dentro de la presa a un nivel constante.

Este equipo puede estar en paralelo con otro similar para efectuar el mantenimiento sin interrumpir el tratamiento de aguas de desecho. En la (Fig. V.4.,) se ilustra un croquis de un se-

parador A.P.I.

## 2.- Separador de Placas Corrugadas.

El separador de placas corrugadas consiste de cuatro elementos principales:

- 1).- El recipiente exterior del separador de placas corrugadas (SPC)
- 2).- El interceptor o paquete de placas corrugadas (IPC).
- 3).- El derramador de aceite.
- 4).- El derramador ajustable de agua efluente.

El diseño básico de un separador de placas corrugadas se muestra en la (Fig. V.5.).

Cuando el agua de desecho entra al compartimiento A del separador SPC, su velocidad es disminuída a menos de 1 pie/seg, esto permite que las partículas sólidas gruesas, se sedimenten en el área de almacen de arena y que los glóbulos grandes de aceite floten hacia la superficie.

Las aguas pasan hacia el compartimiento B, en donde se encuen--

tra el interceptor de placas corrugadas IPC.

En el IPC, las gotitas finas de aceite y el sedimento se separan por gravedad, el agua libre de aceite fluye al compartimento C y sube hacia el tubo de salida.

Tanto el compartimiento separador B, como el compartimiento de salida C, están provistos de derramaderos ó vertedores.

La altura de los cuales es ajustable, y debe ajustarse para -- balancear las cargas hidráulicas de tal manera que solamente se derrame aceite hacia el colector de aceite.

Una capa de aceite es mantenida en el compartimiento B de modo que el aceite se derrame automáticamente hacia el colector debido a la diferencia de densidades del aceite y el agua. El corazón del separador de placas corrugadas es el IPC, el paquete estándar consiste de 47 hojas corrugadas ó placas, colocadas en paralelo con una separación de  $\frac{3}{4}$  pulg.

Las dimensiones generales son 38" de alto por 42" de ancho, -- por 69" de largo, tiene una área total proyectada horizontalmente de 550 pies<sup>2</sup> aproximadamente.

Tanto las placas como sus soportes que la arman están hechas de fibra de vidrio reforzadas con resina poliéster, para resistir

la corrosión, colocadas a un ángulo de  $45^\circ$  en dirección del flujo, permitiendo con eso aumentar el tiempo de residencia -- del agua.

### 3.- Equipo de Flotación por Aire Disuelto.

Este equipo consta de un depósito que puede ser de forma rectangular o circular, el cual llega como carga, agua, aceite y aire inyectado a presión (tanque de retención). Al entrar esta mezcla al depósito que se encuentra a condiciones atmosféricas (cámara de flotación), la brusca expansión del aire provoca -- turbulencia y burbujas aire-aceite que se separan de la masa -- de agua, formando una capa de aceite y espuma, la cual es ba-- rrida por unas palas accionadas por un motor eléctrico y enviadas a un cárcamo de bombeo de aceite. El agua libre sale por la -- parte inferior del depósito y en caso necesario es reciclada pa -- ra mejorar su calidad en la (Fig. V.6.), se presenta un esque-- ma que ilustra el sistema de recuperación de aceite por celda -- de flotación por aire disuelto.

### 4.- Equipo de Flotación por Aire Inducido.

En general, este equipo usa rotores para inducir el flujo de -- aire en uno o varios puntos de la cámara de flotación, con lo cual produce la liberación de burbujas de aire que arrastran -- las partículas suspendidas a la superficie. Pueden utilizarse

productos químicos floculantes, si las características del desecho así lo justifican y se mejora la efectividad del proceso.

Pero existen algunas unidades que usan una bomba de recirculación con boquillas especiales, este cambio hace que tenga menor consumo de potencia que el equipo con rotor.

En la (Fig. V.7.), se muestra un equipo de flotación por aire inducido.

#### 5.- Presá de Asentamiento.

Este equipo básicamente consta de un recipiente formado perimetralmente por un bordo de tierra, con las siguientes características que son:

Ancho .....	40 m .
Largo .....	100 m .
Profundiad .....	3 m .
Capacidad .....	120 00 m <sup>3</sup> .

Esta fosa estará equipada con un cárcamo de bombeo de aceite; - para evitar derrames por la parte superior y por medio de un tubo sifón, el agua libre de aceite pasa al segundo depósito para seguir el tratamiento.

## 6.- Laguna de Oxidación.

Las dimensiones de una laguna de oxidación se realizan tomando como base la construcción definitiva de una presa de asentamiento. Aunque para efectos de diseño se toma únicamente un metro de profundidad, porque se considera que a mayor profundidad los procesos de metabolismo (cambio de materia y de energía entre el organismo vivo y el medio exterior) aeróbico son deficientes, se estima necesario que la laguna tenga un mínimo de 2.5 m ., para impedir el crecimiento de plantas acuáticas y para dejar una capacidad adicional para compensar el azolve.

Esta profundidad nos dará un tiempo de residencia de 8 días, - que proporciona una garantía para evitar descargas de contaminantes.

Es necesario también que la laguna tenga bordos deflectores para aprovechar al máximo la superficie y evitar canalizaciones.

Como el equipo de tratamiento de aguas de desecho es el último acondicionamiento que se da a las aguas antes de pasar al cuerpo receptor, este equipo debe garantizar una operación eficiente en condiciones normales de trabajo, y tener la flexibilidad de retener en forma temporal productos aceitosos resultado del descontrol de equipo de deshidratación, fallas mecánicas o - - eléctricas.

C A P I T U L O VI

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS EN POZA RICA

## VI. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS EN POZA RICA.

### VI.1. Deshidratación y Ductos Principales.

El área Poza Rica está constituida por los campos Poza Rica: II, III, V, VI, IX, IX, X, XI, XIII, XVI, XVII, XIX, XX, Papantla, - Chote, Tajín I y II, (Fig. VI.1.).

El área cuenta con seis tanques deshidratadores, en los cuales - se deshidrata la producción total de dicha área de la forma si-- guiente:

- En el tanque deshidratador TD-78, localizado al margen de la -- Batería Poza Rica II, se deshidrata el aceite de los campos: Poza Rica II, VI, XIII, XVI, XVII, XX y Papantla I.

Esta corriente ya deshidratada, se envía por gravedad por un oleo ducto de 12"  $\emptyset$  a los tanques deshidratadores TV-I y TV-2, locali-- zados en la Central de Almacenamiento y Bombeo.

La producción de los campos Poza Rica: II, V, IX y XI; se bombea por un oleoducto de 12"  $\emptyset$  y ésta corriente se junta con la que -- viene del tanque deshidratador TD-78 a la altura del deshidrata-- dor TD-40 (fuera de servicio) y de este punto continúa hasta el -- TD-TV-1.

Las corrientes de los campos : Jiliapa, Miquetla, Nuevo Progreso, Poza Rica X y XIX; se unen a la corriente del tanque deshidrata--

dor TD-78 en un cabezal de 24" Ø en el área de bombeo y almacenamiento.

Actualmente se deshidrata la corriente de Poza Rica y Jiliapa-Miquetla en el TD-TV-1.

#### TANQUES DESHIDRATADORES.

La producción bruta que llega a los tanques deshidratadores TV-1, 2, 3, tiene un gasto aproximado de 36 680 bls/día. Esta mezcla -- contiene actualmente 40% de agua salada y 60% de aceite; a las -- condiciones futuras su composición será 50% de agua y 50% de aceite. Estas condiciones futuras son debidas a la inyección de agua al yacimiento.

La presión máxima a la que llega la mezcla, es de 2.5 kg/cm<sup>2</sup>, y la normal de 2 kg/cm<sup>2</sup>, la temperatura máxima es de 33°C, la normal de 32°C y la mínima de 28°C.

#### CARACTERISTICAS DE AGUA SALADA.

Temperatura de salida . . . . .	30°C
Peso específico . . . . .	1.16
Viscosidad . . . . .	32 SSU

### CARACTERISTICAS DEL ACEITE

Temperatura media . . . . .	30° C
Peso específico . . . . .	0.872
Viscosidad a 30°C. . . . .	150 SSU

El nivel del colchón de agua en estos tanques debe ser de 4m máxi mo, y el mínimo de 2m y el de operación normal de 3m.

En el control de nivel se encuentra instalado un transmisor de ni vel, el cual manda una señal a un anunciador de alarmas; por otro lado el transmisor envía la señal a una válvula de control neumá tico instalada en la descarga de agua salada del tanque.

Para el control del nivel de los tanques, éstos están previstos - de interruptores de nivel tipo flotador, los cuales mandan la se ñal al anunciador de alarmas.

Los tanques están provistos de mirrillas de nivel (dos por tanque ). Cada tanque cuenta con arrestadores de flama, en línea a un quema dor y otro antes de la válvula de seguridad, con el propósito de - no provocar conflagración dentro de los mismos, debido a que se -- pueden prender los gases liberados.

CARACTERISTICAS DE LOS TANQUES DESHIDRATADORES TD-101 y TD-102.

Tiempo de retención ----- 10 hrs.  
 Diámetro ----- 22.40m.  
 Altura ----- 12.19m.

VOLUMEN MANEJADO EN LOS TANQUES DESHIDRATADORES

TD-78 (Batería Poza Rica II) ----- 55 000 bls.  
 TD-40 (Fuera de servicio ) ----- 55 000 bls.  
 TD-10 (Batería Poza Rica X) ----- 10 000 bls.  
 TV-1 (Central de Bombeo y Almacenamiento) -----100 000 bls.  
 TV-2 (Central de Bombeo y Almacenamiento) -----100 000 bls.  
 TV-3 (Central de Bombeo y Almacenamiento) -----100 000 bls.

T O T A L: 420 000 bls.

CARACTERISTICAS DE FABRICACION

TANQUES	TD-10	TD-40	TD-78	TV-1, 2, 3
Tipo de junta	remachado	remachado	soldado	soldado
Constante	217.48	292.54	952.50	1306.5
Diámetro de descarga	-	12" Ø	12" Ø	12" Ø
Diámetro de succión	-	12" Ø	12" Ø	12" Ø

## VI.2. Planta de Tratamiento de Agua Salada de Desecho.

La planta de tratamiento de agua salada de desecho en el área de Poza Rica, Veracruz, está diseñada para tratar 120 000 bls., y -- actualmente se tratan únicamente 20 000 bls. correspondiente a -- la deshidratación de la corriente Poza Rica, Jiliapa y Miquetla.

La mezcla a tratar, se envía por medio de las bombas helicoidales a los separadores elevados de placas corrugadas, en las cuales se se para el agua, el aceite y los lodos.

El agua separada ya casi libre de aceite, es enviada a una fosa de retención, donde se le termina de eliminar el poco de aceite que queda. El aceite deshidratado recolectado en los separadores y en fosa de retención, por medio de un sistema de bombas se envía a -- los tanques TV-1, TV-2 y TV-3 (Fig. IV.2).

El agua separada ya libre de aceite que sale de la fosa de reten-- ción, se bombea al Distrito Industrial y después se descarga al - - Río Cazones. Los lodos recolectados en el fondo del separador de - placas, se manda por gravedad hasta el arroyo "Salsipuedes".

TABLA DE ANALISIS DEL AGUA SALADA QUE SE DESECHA

pH . . . . .	7.1
Grasas de aceites . . . . .	90 ppm
Sulfhídrico . . . . .	140 ppm
Salinidad . . . . .	18 320 ppm
Alcalinidad F . . . . .	0 ppm
Alcalinidad M. . . . .	840 ppm
Dureza Total . . . . .	2 216 ppm
Sólidos Totales . . . . .	19 110 ppm

VI. 3. Unidades Separadoras de Agua.

SEPARADOR DE PLACAS CORRUGADAS SP-101-A, B, C, D.

Su objeto principal es el de la separación de aceite contenido en el agua salada de desecho.

Este separador tiene las dimensiones suficientes para el manejo de un gasto aproximado de 3 200 GPM de agua salada de desecho, conteniendo 200 ppm de aceite. (Fig. VI .3).

Consta principalmente de los siguientes accesorios:

- Canales distribuidores.
- Baffle distribuidor de flujo.

- Paquete de placas corrugadas.
- Canal de agua de desecho
- Cañas colectoras de aceite.
- Drene de lodos

D I M E N S I O N E S :

DIMENSION	PAQUETE	CELDA	SEPARADOR
Alto	0.965m	4.00 m	4.0 m
Ancho	1.06 m	2.90 m	4.44m
Largo	1.75 m	3.25 m	8.28m

Características de las cañas:

Longitud ----- 3.15m

Operación manual (por medio de una palanca).

FOSAS DE RETENCION FR-101-A, 101-B.

Las fosas de retención tienen como objetivo principal el poco -  
aceite que halla quedado de la deshidratación efectuada por las -  
placas corrugadas.

ENTRADAS:

3 200 GPM de agua proveniente de los separadores de placas (por -  
gravedad).

SALIDAS:

4 000 GPM de agua a la fosa FA-101 (por gravedad); con menos de -  
10-20 ppm de aceite.

Aceite recuperado a la fosa FC-101 (por gravedad).

Para recolectar el aceite se cuenta con una caña de 3m de longitud  
(cada fosa) de operación manual.

La construcción de estas fosas es a base de muros de gravedad con  
recubrimiento de concreto, y una base de la cimentación de mallas -  
electrosoldada.

Las fosas comienzan en forma rectangular y terminan en forma de --  
trapecio.

CARACTERISTICAS:

Area -----	5 469.75m <sup>2</sup>
Volumen -----	10 939.50m <sup>3</sup>
Tiempo de retención -----	12 hrs.

DIMENSIONES	RECTANGULO	TRAPECIO	CARCAMO DE SALIDA
Longitud	58m		3m
Ancho	72m		3m
Profundidad	2m		2m
Area	4 176m <sup>2</sup>	1 293.75m <sup>2</sup>	
Volumen	8 352m <sup>3</sup>	2 587.50m <sup>3</sup>	
Base Mayor		72.0 m	
Base Menor		3.0 m	

FOSA DE CRUDO RECUPERADO FC-101.

MATERIAL	FOSA	CARCAMO
Material -----	concreto -----	concreto
Capacidad -----	9.23 m <sup>3</sup> -----	1.92 m <sup>3</sup>
Tiempo de retención -----		3 min.

CARCAMO DE BOMBEO FB -101

Material ----- concreto.

C A R A C T E R I S T I C A S :

Tiempo de retención -----	15 min.							
Capacidad -----	187.5 m <sup>3</sup>							
Niveles -----	<table border="0"> <tr> <td rowspan="3" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td>1</td> <td>m (mínimo)</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>m (normal)</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>m (máximo)</td> </tr> </table>	}	1	m (mínimo)	3	m (normal)	5	m (máximo)
}	1		m (mínimo)					
	3		m (normal)					
	5	m (máximo)						

D I M E N S I O N E S :

Longitud ----- 15 m  
Profundidad ----- 5 m  
Ancho ----- 2.5 m

FOSA DE AGUA SALADA DE DESECHO FA-101.

Material ----- concreto

C A R A C T E R I S T I C A S :

Capacidad ----- 467.6 m<sup>3</sup>  
Tiempo de retención ----- 26 min.

D I M E N S I O N E S :

Longitud ----- 13 m  
Ancho ----- 11 m  
Profundidad ----- 3.2 m

Esta unidad cuenta con un interruptor por alto y bajo nivel para arranque y paro de las bombas

#### VI.4. Equipo de Bombeo.

DESCRIPCION	HP	CANTIDAD
Bombas tipo turbina con motor eléctrico	125	3
Bombas tipo turbina con motor eléctrico	15	2
Bombas tipo turbina con motor eléctrico	5	2
Bombas tipo turbina con motor eléctrico	3	2
Bombas tipo Arquímedes con motor eléctrico	25	3
Motores auxiliares de engrase	1.73	3

Además cuenta con 27 bombas de desplazamiento positivo acondicionadas con gas seco. En la (Fig. VI.4.), se muestra un ciclo completo de la deshidratación y tratamiento de crudo, así como la inyección del agua salada.

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

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

- Clarifying Oilfield and Refinery Waste Waters by Gas Flotation.  
Journal Petroleum Technology, April, 1983.
- Desarrollo y Aplicación de Agentes Químicos Desemulsificantes -  
en la Deshidratación de Crudo.  
Mendizábal. P.; Tesis Profesional UHAM (1976).
- Dual Polarity Oil Dehydration por Donald R. Burris Pet. Eng. --  
August 1977
- Gas Cleaning by Mechanical Separations.  
M.M. Valerius, BS & Houston.
- JPT Effect of pH on Interfacial Films and Stability of crude --  
oil Water Emulsion, March 1978.
- Manual on Disposal of Refinery Wastes.  
Vol. I., Waste Water Containing Oil.  
7a. Edición, 1963. American Petroleum Institute.
- Mist Extractor Test Results.  
Confidential Report, BS & B Houston.
- Oil and Gas Separation in a Science.  
M. Steve Worley & Lawton I. Laurence; BS & B Oklahoma.

- PEMEX, Deshidratación, Departamento de Ingeniería de Producción, Sección de Control de Calidad de Fluidos.
- Petroleum Production Handbook.  
Frick T.L. and Taylor.
- Selección de Proceso y Equipo para Deshidratar y Desalar Crudo.  
J.I. Téllez, Revista. IMP Mayo, 1978.
- Surface Operations in Petroleum Production  
George Chilingar and Carol Beeson.
- Tratamiento Preliminar de Aceites Crudos en el Distrito Poza Rica.  
Por Melchor Pesquera V., Depto. de Ing. Petrolera.
- Treating Oil Field Emulsions, prepared in cooperation with and validated by the Central Comitee and Vocational Training of Division of Production of the American Petroleum Institute, June 24, 1949; issued by the University of Texas.

F I G U R A S

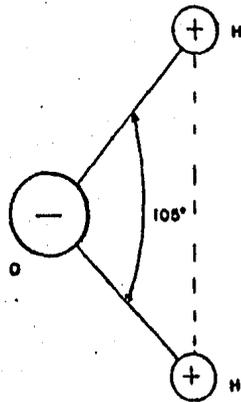


FIG. III. I.a

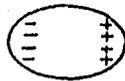


FIG. III. I.b

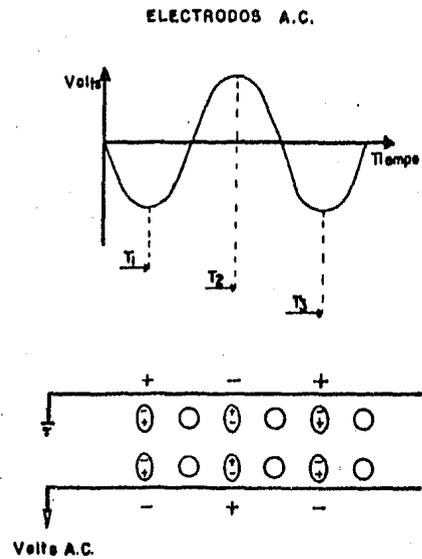


FIG. III. I.c

FIG. III. I COMPOSICION Y POLARIDAD DE UNA MOLECULA DE AGUA.

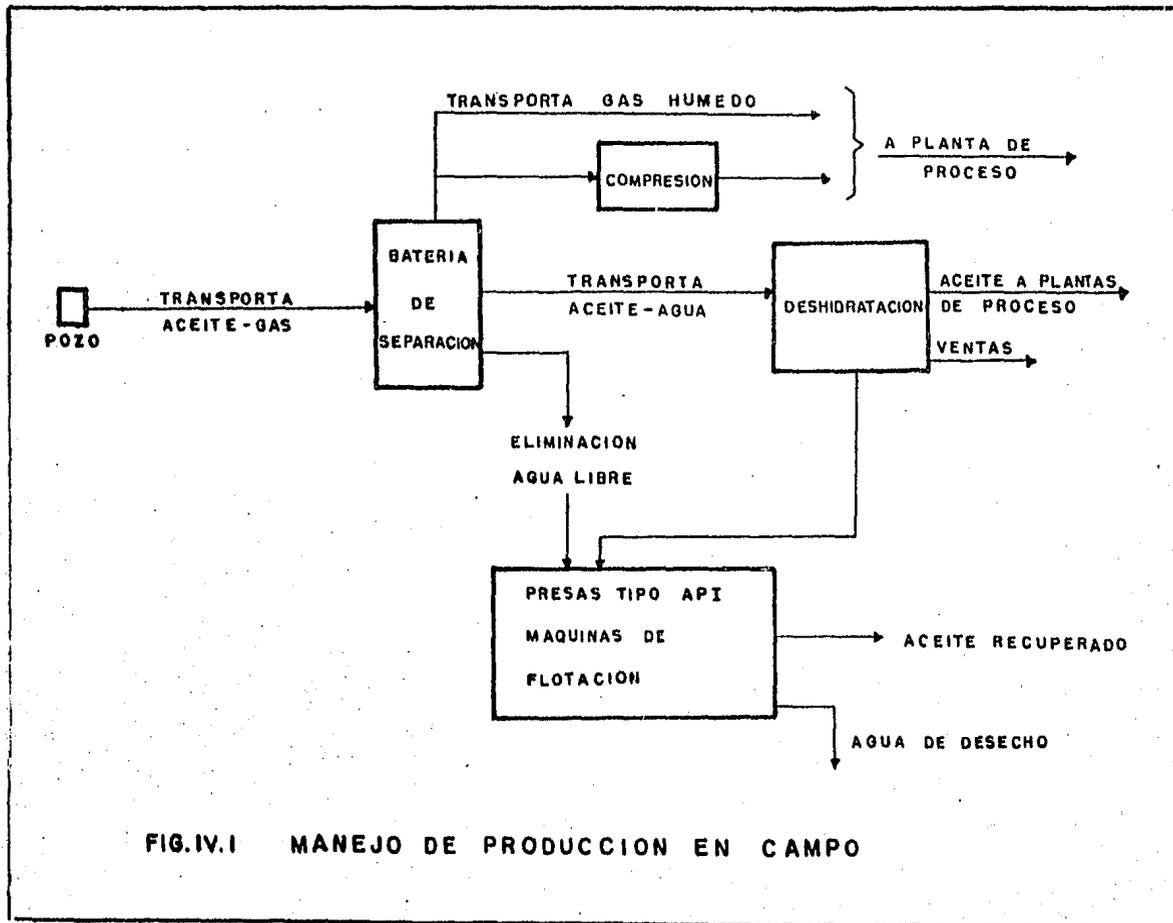


FIG.IV.1 MANEJO DE PRODUCCION EN CAMPO

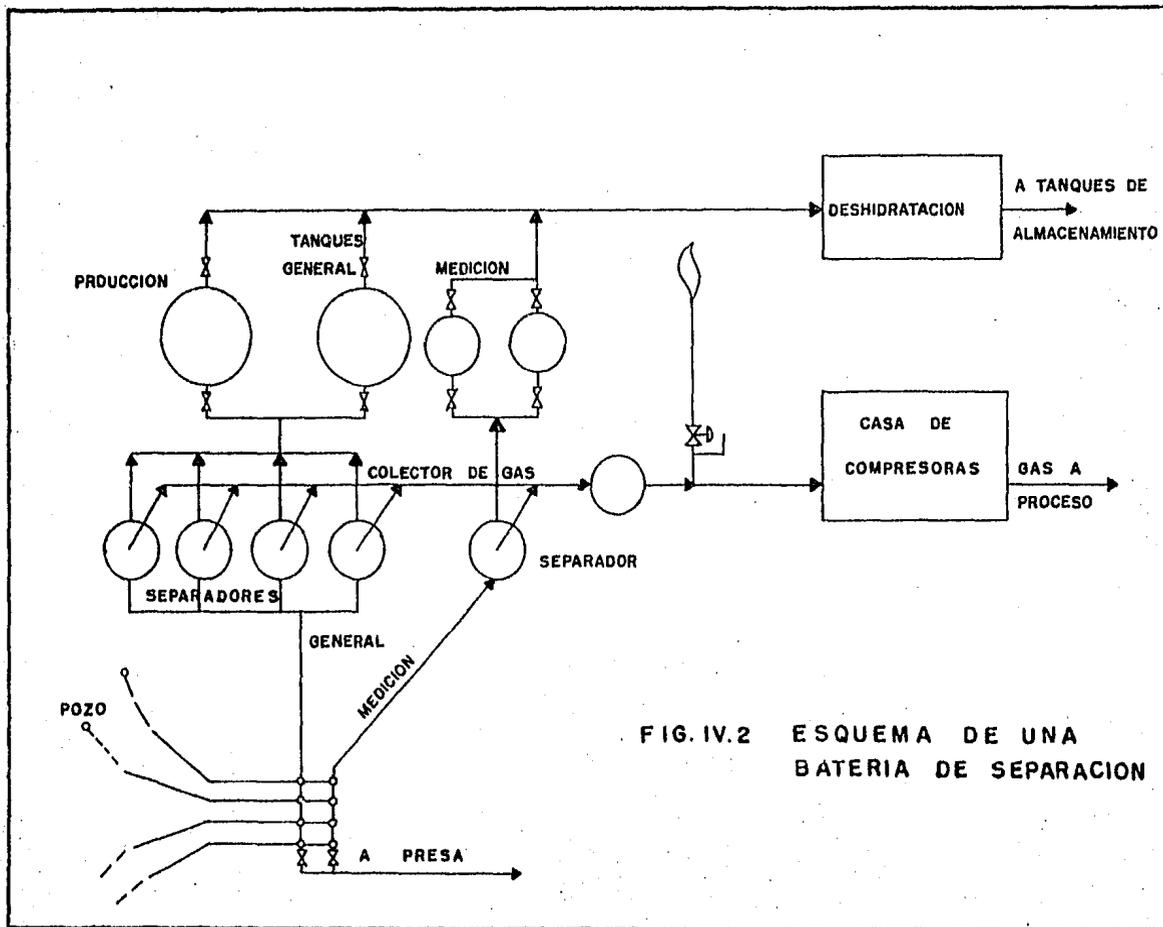


FIG. IV.2 ESQUEMA DE UNA BATERIA DE SEPARACION

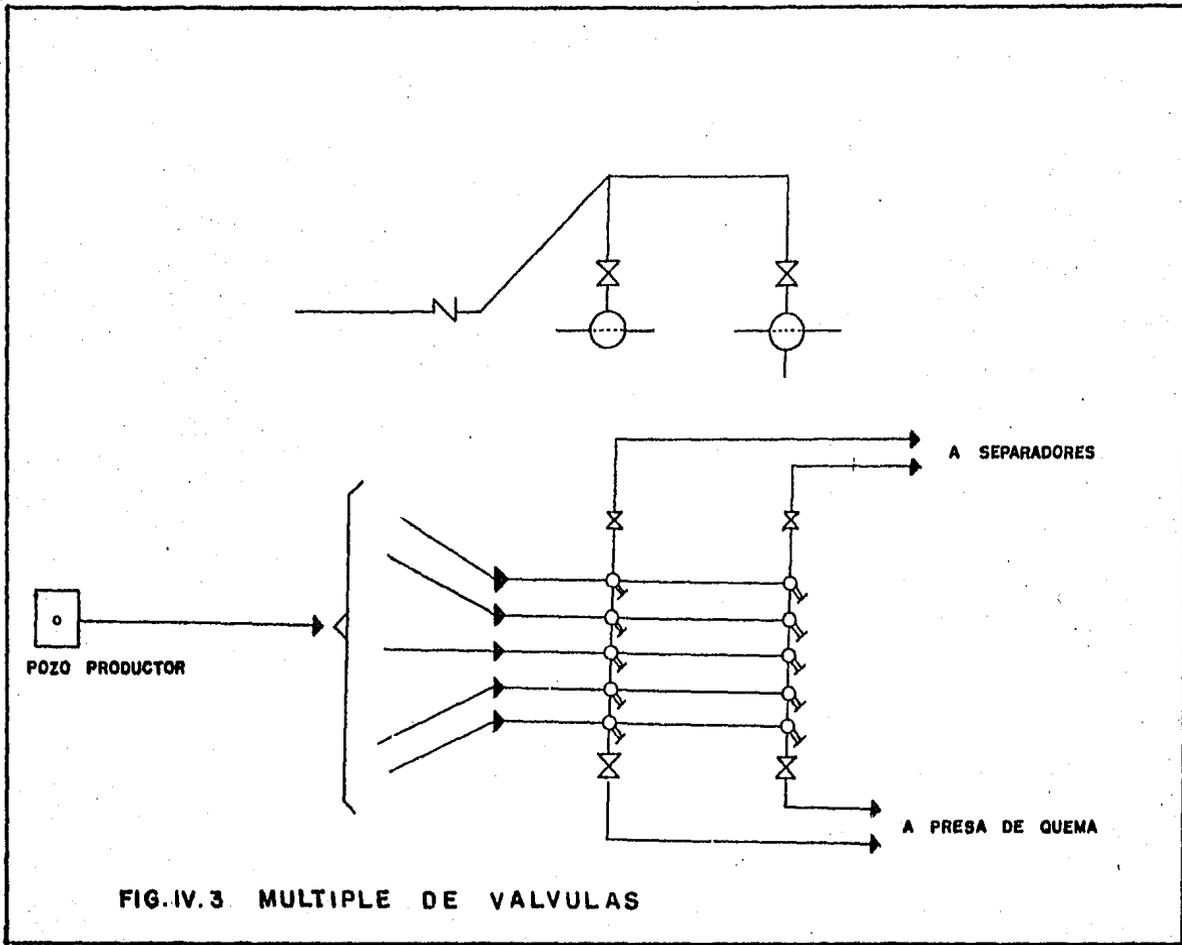


FIG. IV.3 MULTIPLE DE VALVULAS

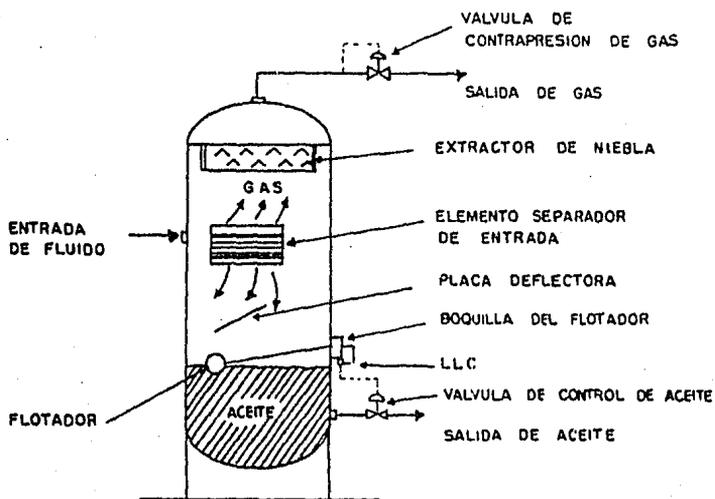


FIG. IV. 4 SEPARADOR VERTICAL ACEITE-GAS

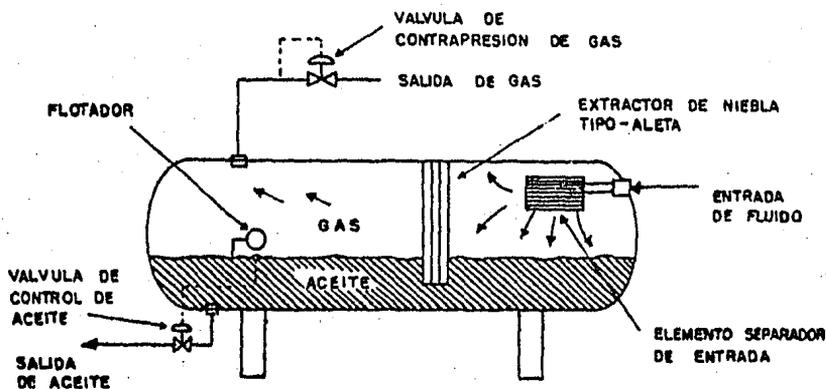


FIG. IV. 5 SEPARADOR HORIZONTAL ACEITE-GAS

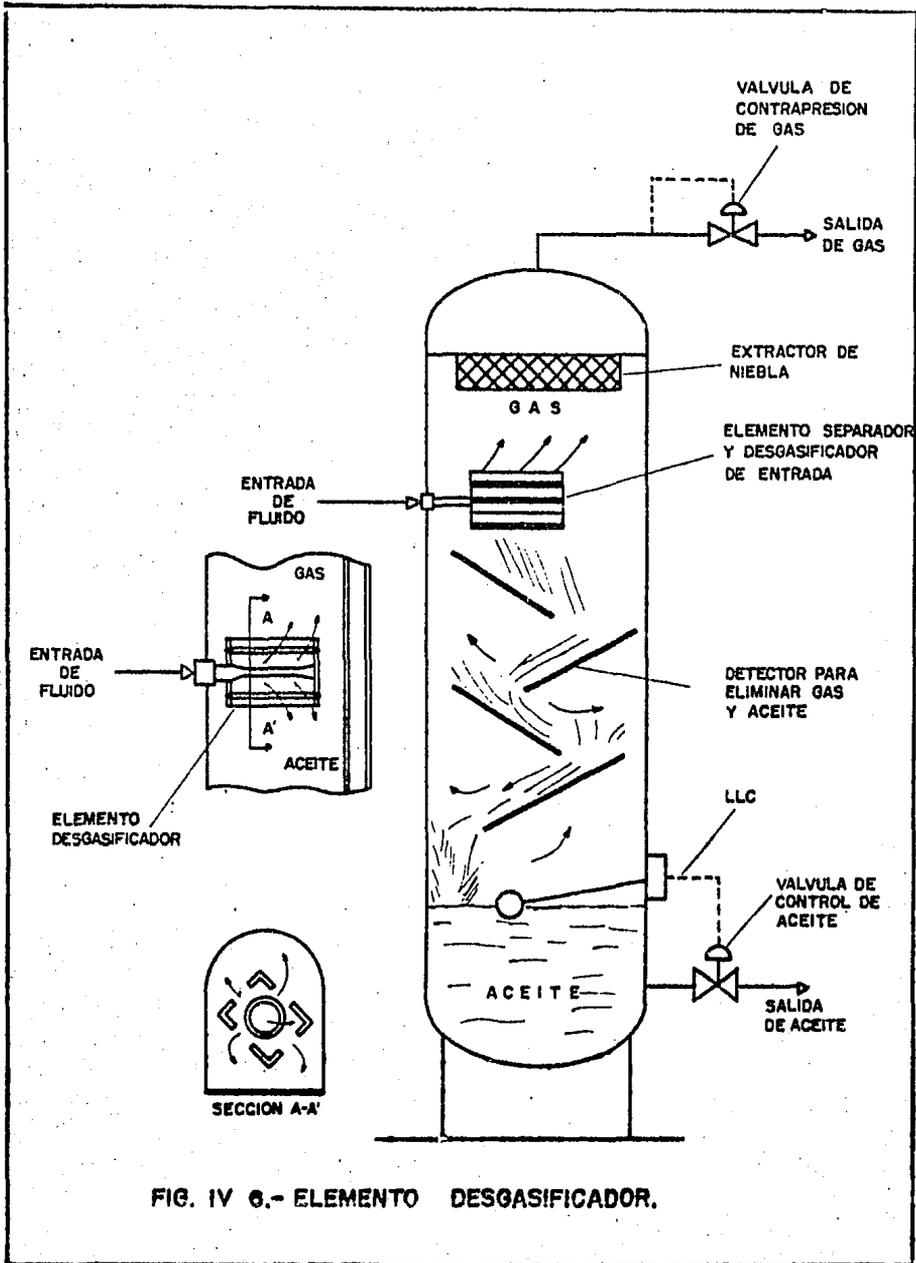
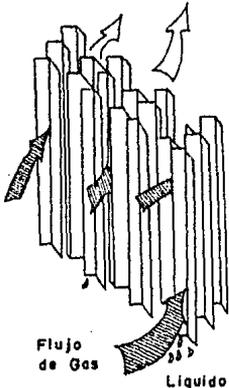


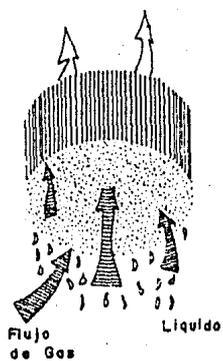
FIG. IV 6.- ELEMEN TO DESGASIFICADOR.



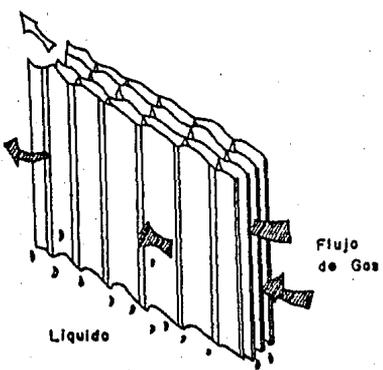
PLACA DEFLECTORA



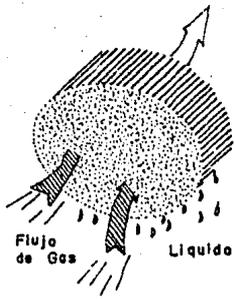
ANGULOS VERTICALES



MALLA DE ALAMBRE



PLACAS VERTICALES



MALLA DE ALAMBRE

FIG.IV.7 DISPOSITIVOS DE SEPARACION BASADOS EN EL MECANISMO DE CHOQUE.

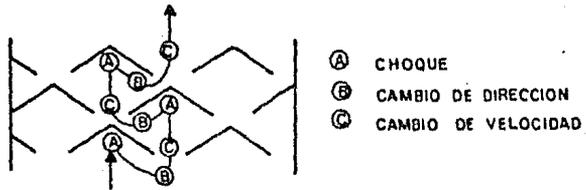


FIG. IV. 8 PRINCIPIOS DEL EXTRACTOR DE NIEBLA.

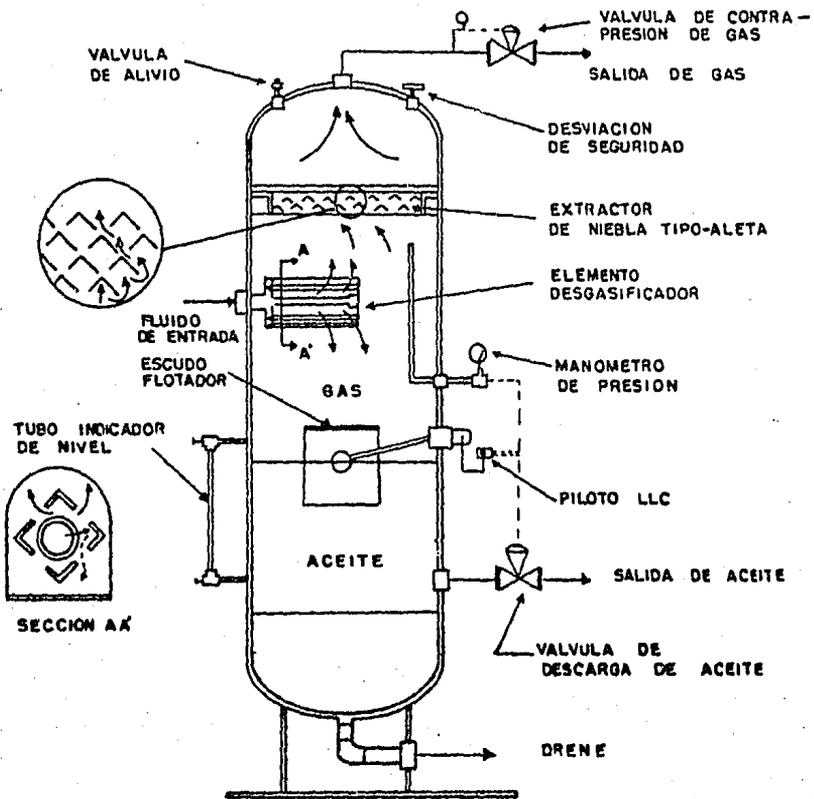


FIG. IV. 9 SEPARADOR VERTICAL ACEITE GAS UTILIZANDO EXTRACTOR DE NIEBLA.

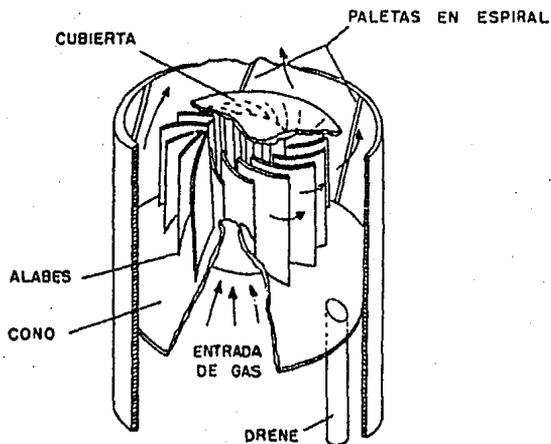


FIG.IV.10 EXTRACTOR DE NIEBLA TIPO-ALABES

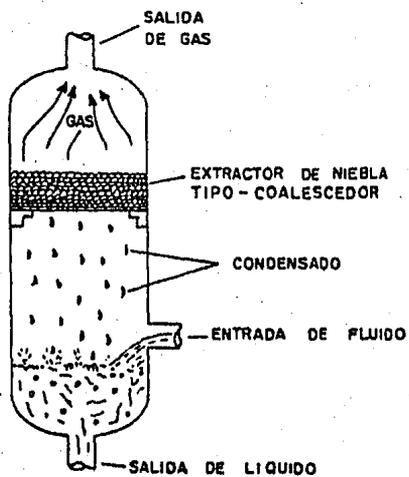


FIG.IV.11 EXTRACTOR DE NIEBLA TIPO-COALESCEDOR

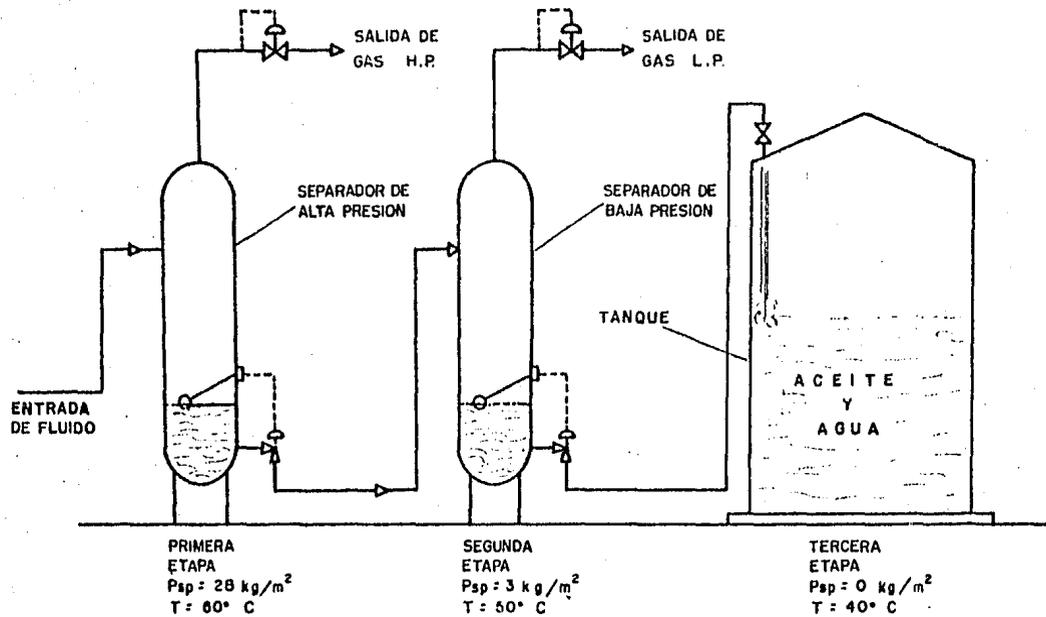


FIG. IV. 12.-ESQUEMA DE UNA INSTALACION DE SEPARACION EN TRES ETAPAS

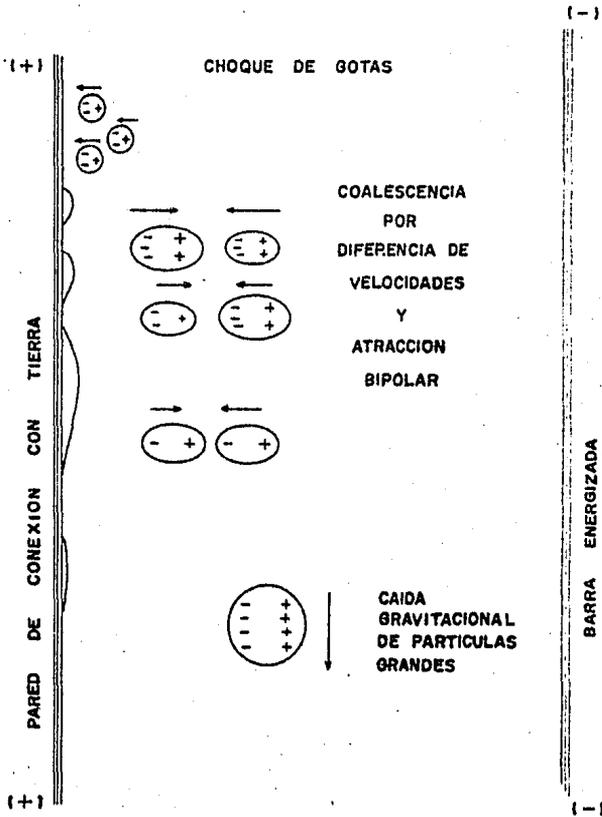


FIG. IV -13.- PRINCIPIO BASICO DE LA COALESCENCIA ELECTROSTATICA.

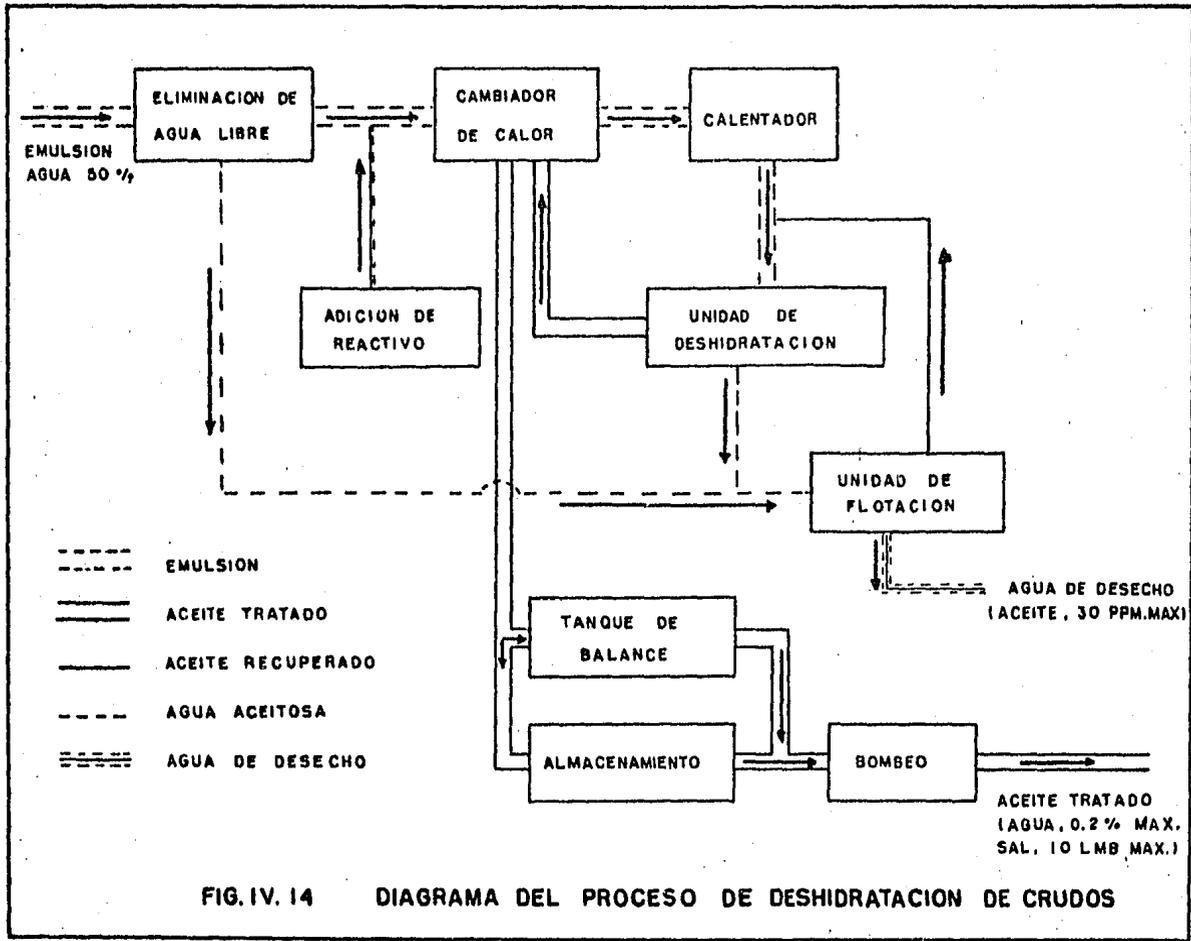
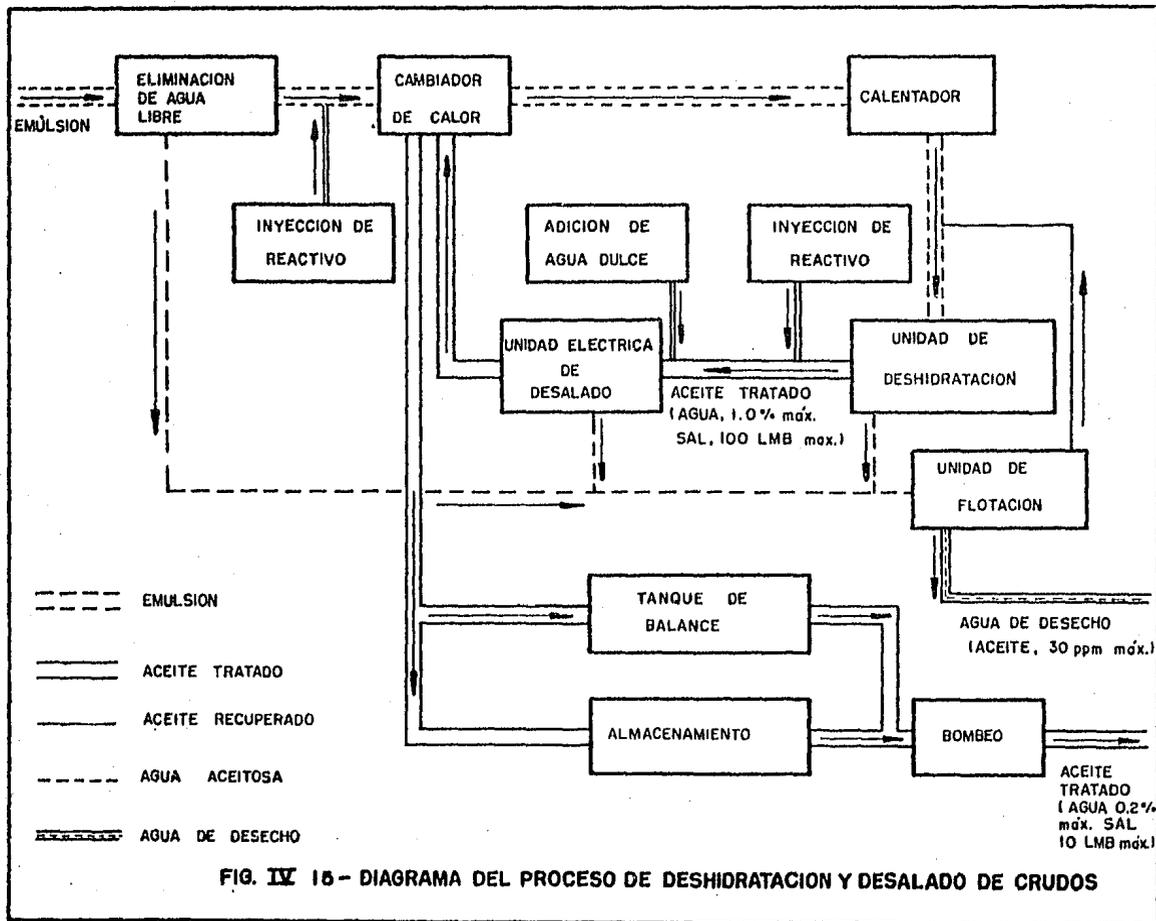
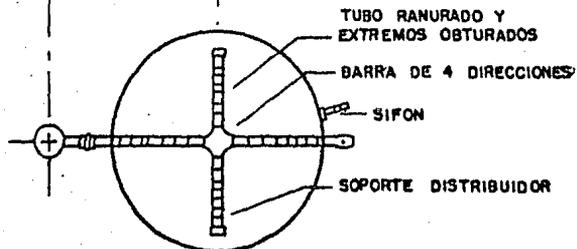
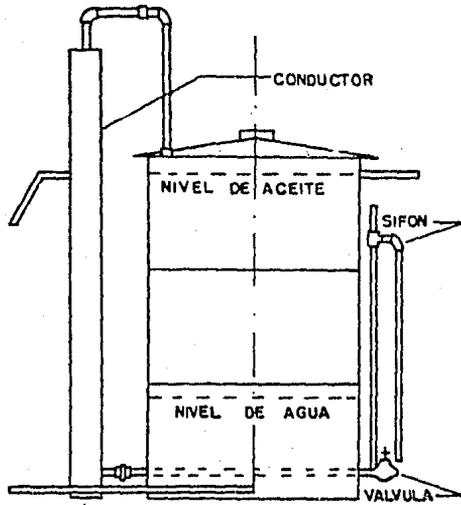


FIG. IV. 14 DIAGRAMA DEL PROCESO DE DESHIDRATACION DE CRUDOS





TANQUE DE ASENTAMIENTO

FIG. IV. 16 TANQUE DE ASENTAMIENTO.

- 1 ENTRADA DEL FLUIDO DEL POZO
- 2 IGUALADOR DE PRESION
- 3 SALIDA DE GAS
- 4 SALIDA DE EMULSION
- 5 SALIDA DE AGUA
- 6 EMULSION
- 7 FILTRO
- 8 AGUA

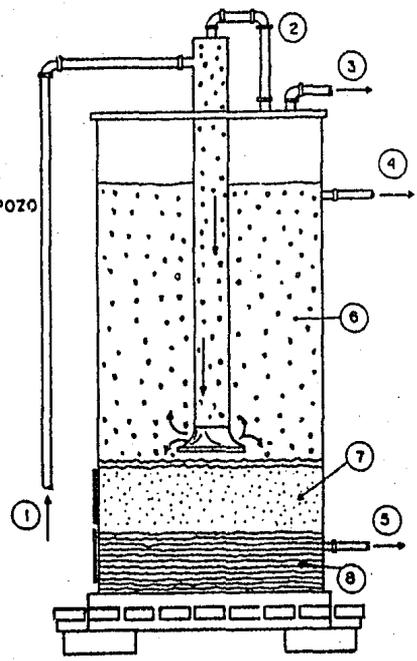


FIG.IV.17 ELIMINADOR DE AGUA LIBRE

- |                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| 1. ENTRADA         | 9. TERMOSTATO       |
| 2. ENGENDEDOR      | 7. TIRO DE CHIMINEA |
| 3. DRENE           | 6. TERMOMETRO       |
| 4. PILOTO          | 9. SALIDA           |
| 8. CAYA DE SUCCION |                     |

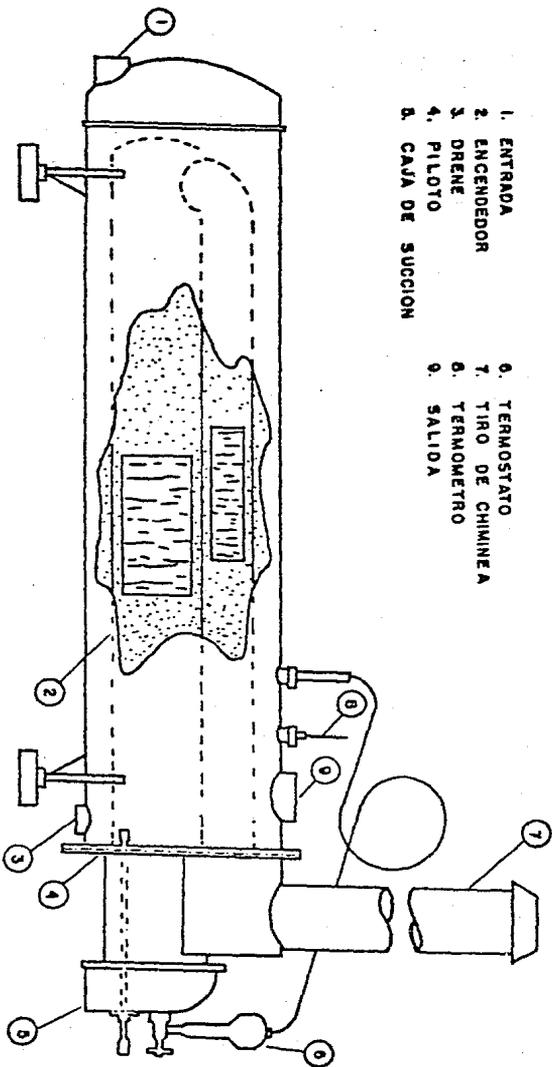
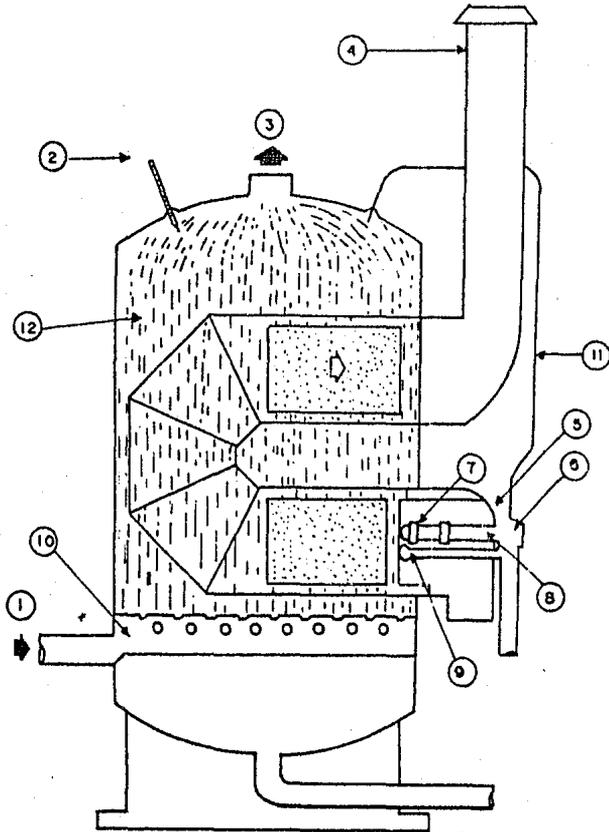
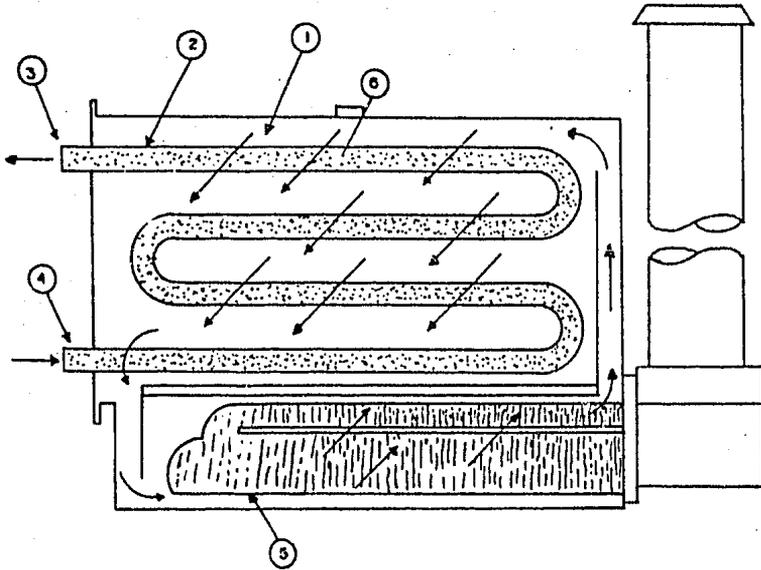


FIG. IV. 18 CALENTADOR DE FUEGO DIRECTO



- |                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| 1. ENTRADA DE EMULSION | 7. ENCENDEDOR           |
| 2. TERMOMETRO          | 8. MEZCLADOR            |
| 3. SALIDA DE EMULSION  | 9. PILOTO               |
| 4. TIRO DE CHIMINEA    | 10. ESPARCIDOR          |
| 5. CAJA DE SUCCION     | 11. TUBO DEL TERMOSTATO |
| 6. TERMOSTATO          | 12. AGUA DE LAVADO      |

FIG. IV.19 CALENTADOR VOLUMETRICO



- 1 BANO DE AGUA
- 2 SERPENTIN
- 3 FLUIDO CALIENTE
- 4 FLUIDO FRIO
- 5 CALOR • FUEGO
- 6 CONEXION

**FIG. IV. 20 CALENTADOR DE FUEGO INDIRECTO**

1. SALIDA DE ACEITE
2. ENTRADA DE ACEITE
3. SALIDA DE GAS
4. EMULSION
5. ACEITE
6. AGUA
7. CONEXIONES DEL CALENTADOR
8. SALIDA DE AGUA
9. ESPARCIDOR

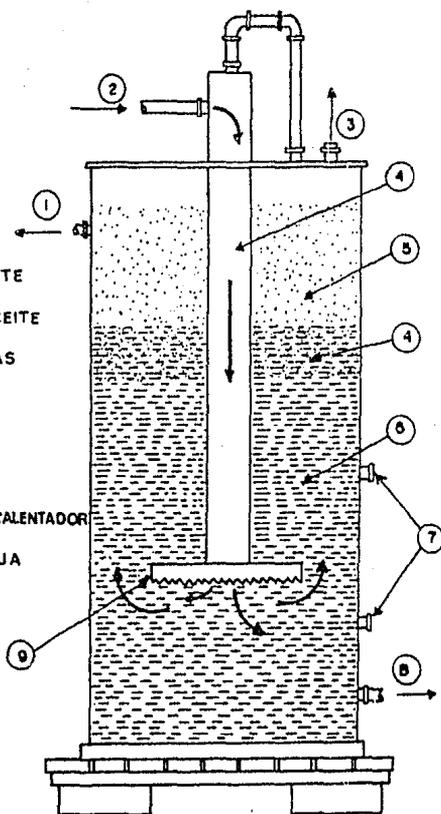
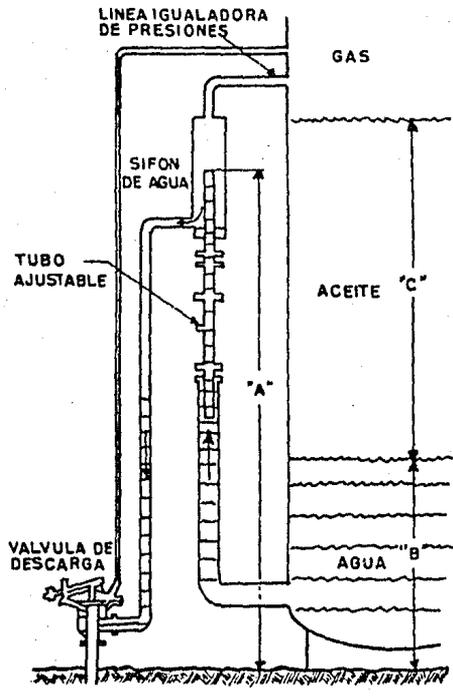


FIG. IV. 21 TANQUE DESHIDRATADOR (GUN BARREL)



**FIG. IV. 22** DIAGRAMA DEL SISTEMA DE DESCARGA DE UN DESHIDRATADOR

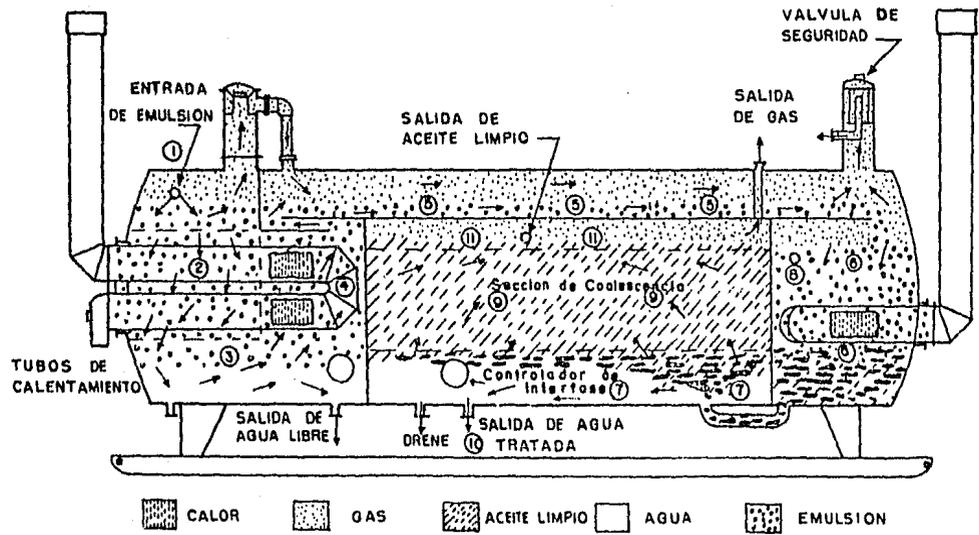


FIG. IV. 23 DIAGRAMA DE UN TRATADOR TERMOQUIMICO.

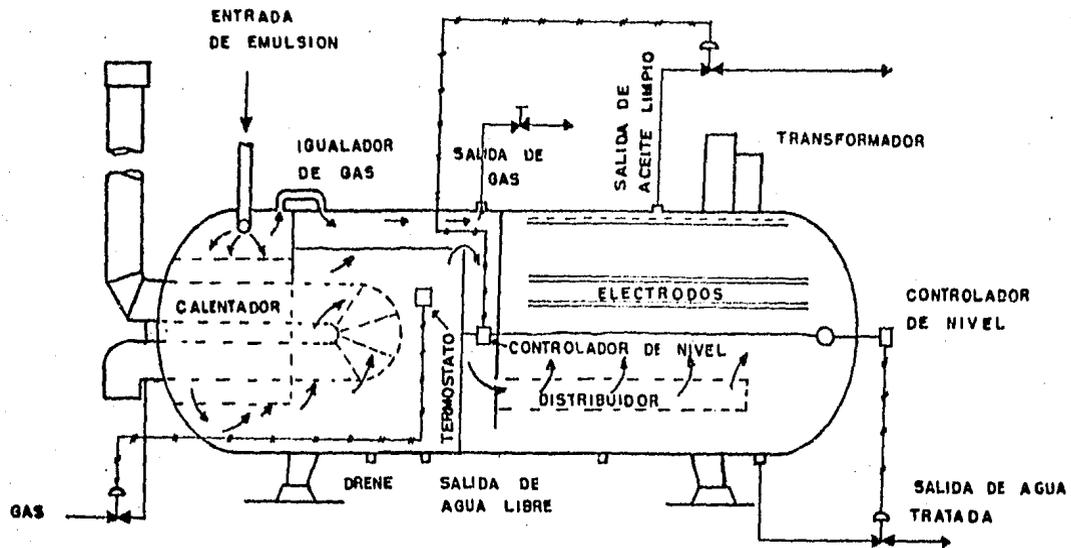


FIG. IV. 24 DIAGRAMA DE UN TRATADOR ELECTROQUIMICO.

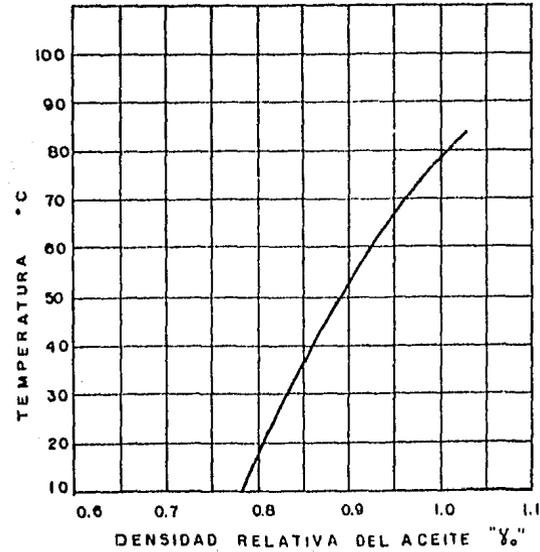
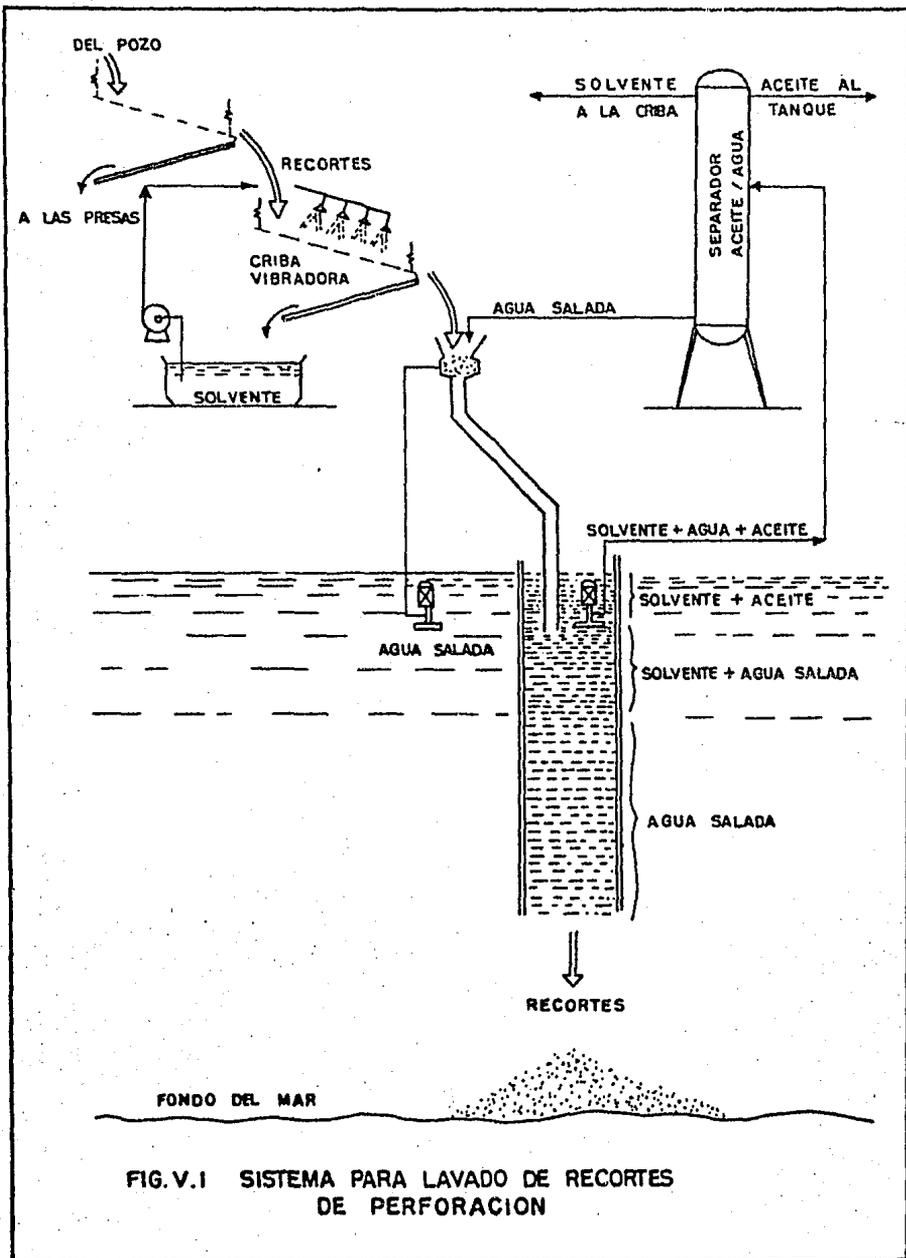


FIG.IV.25 TEMPERATURA DE DESHIDRATACION DEL ACEITE



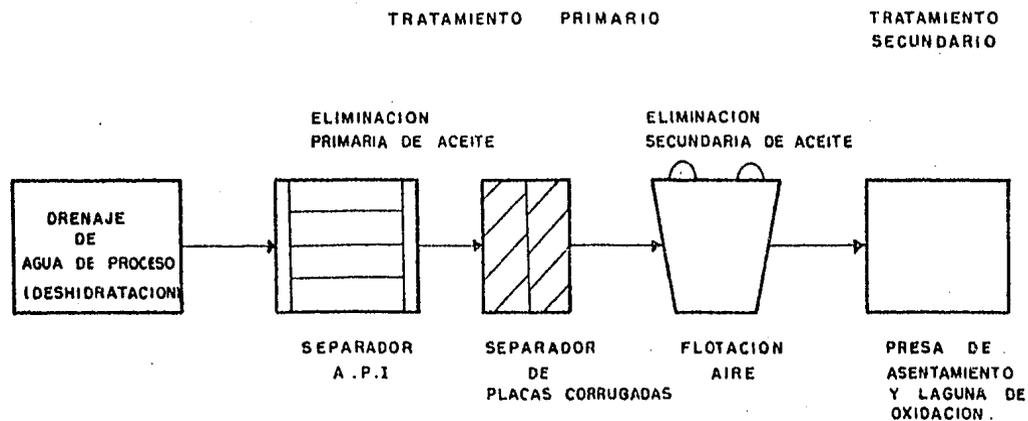


FIG. V.2 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE DESECHO.

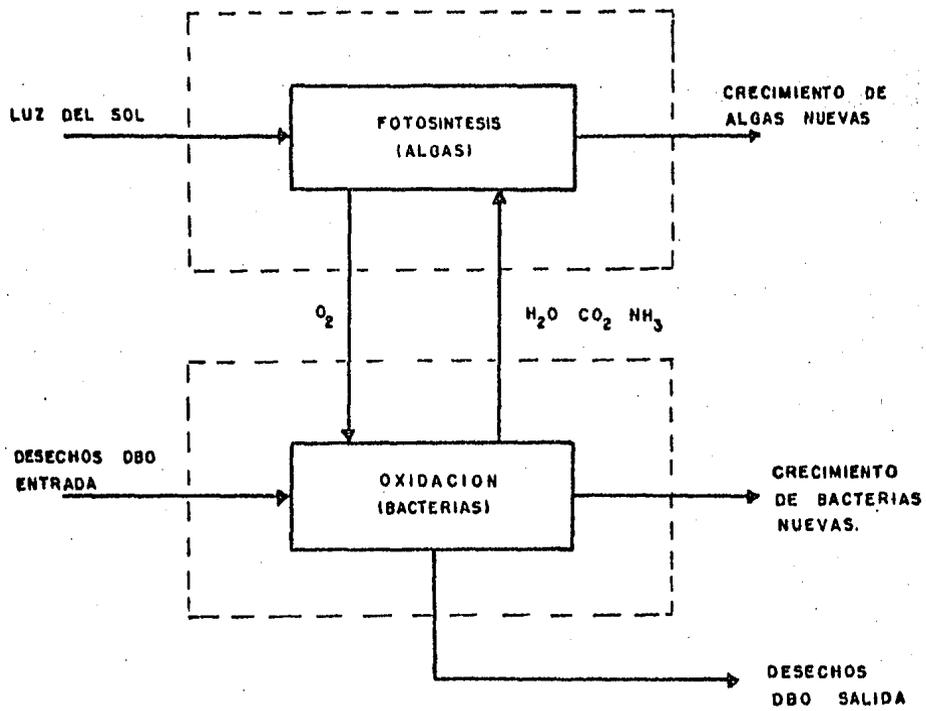


FIG. V. 3 TRATAMIENTO DE OXIDACION BIOLÓGICA.

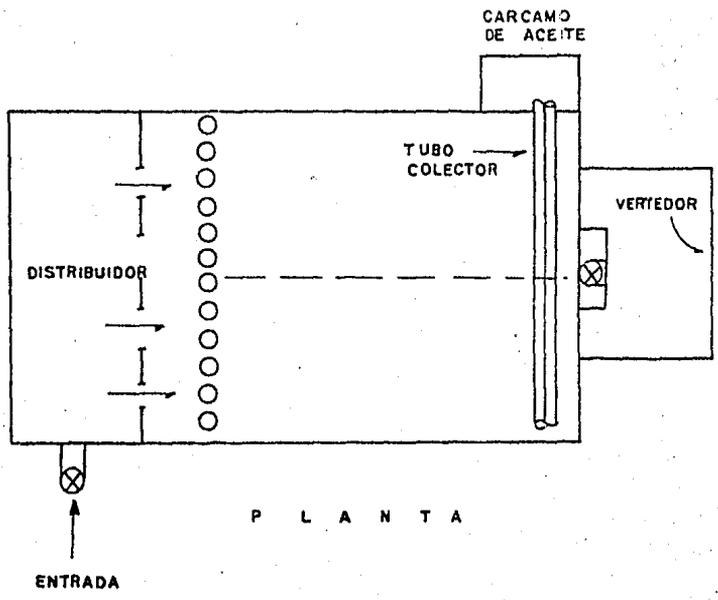
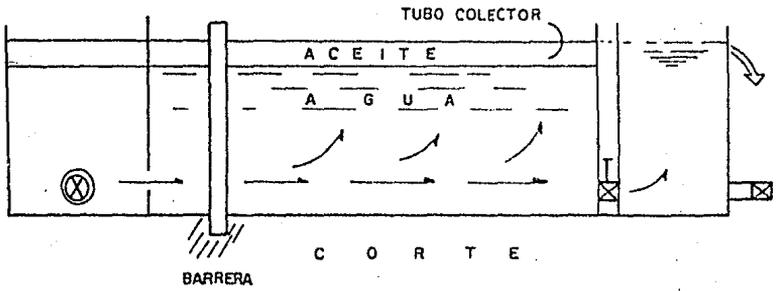


FIG. V. 4 PRESA A.P.I.

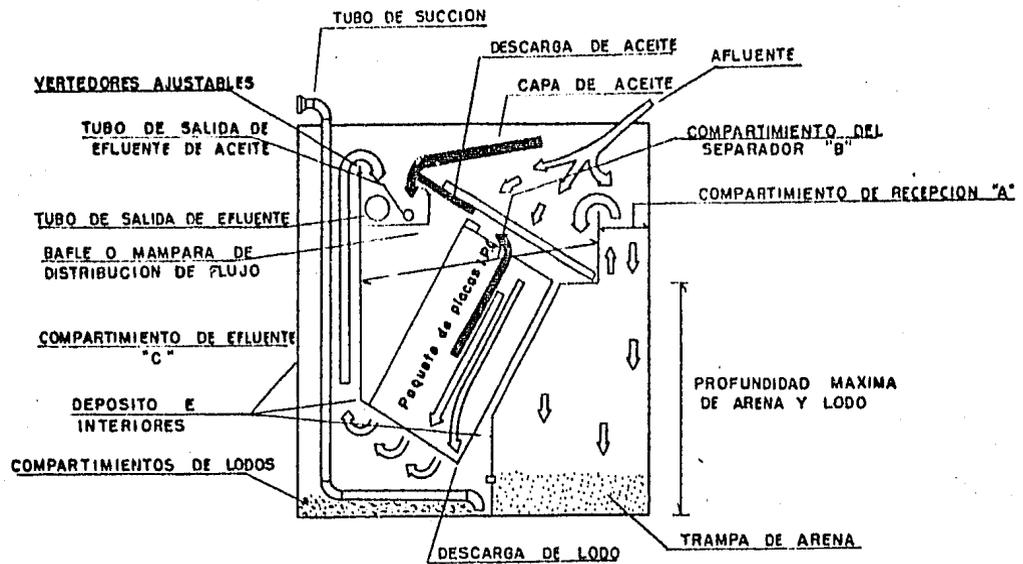


FIG. V. 5 DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DEL SEPARADOR DE PLACAS CORRUGADAS

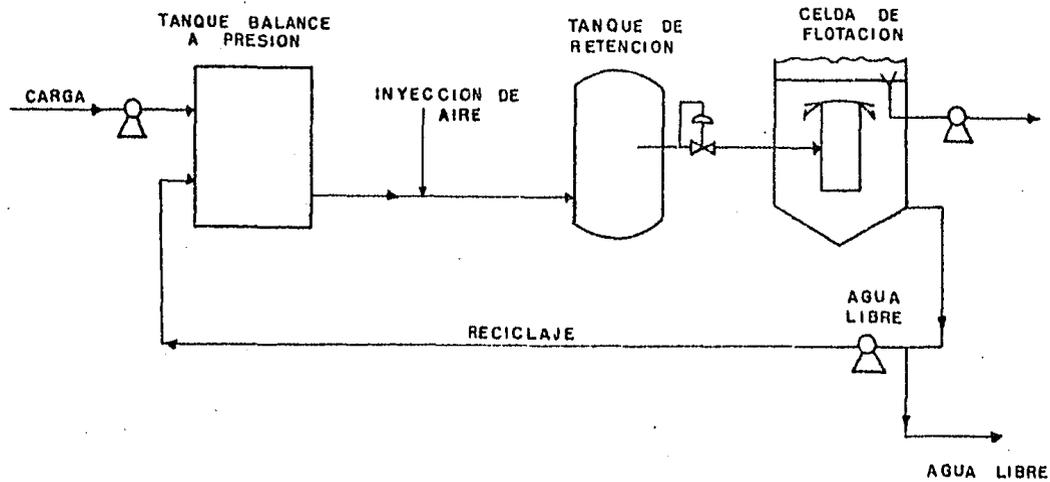
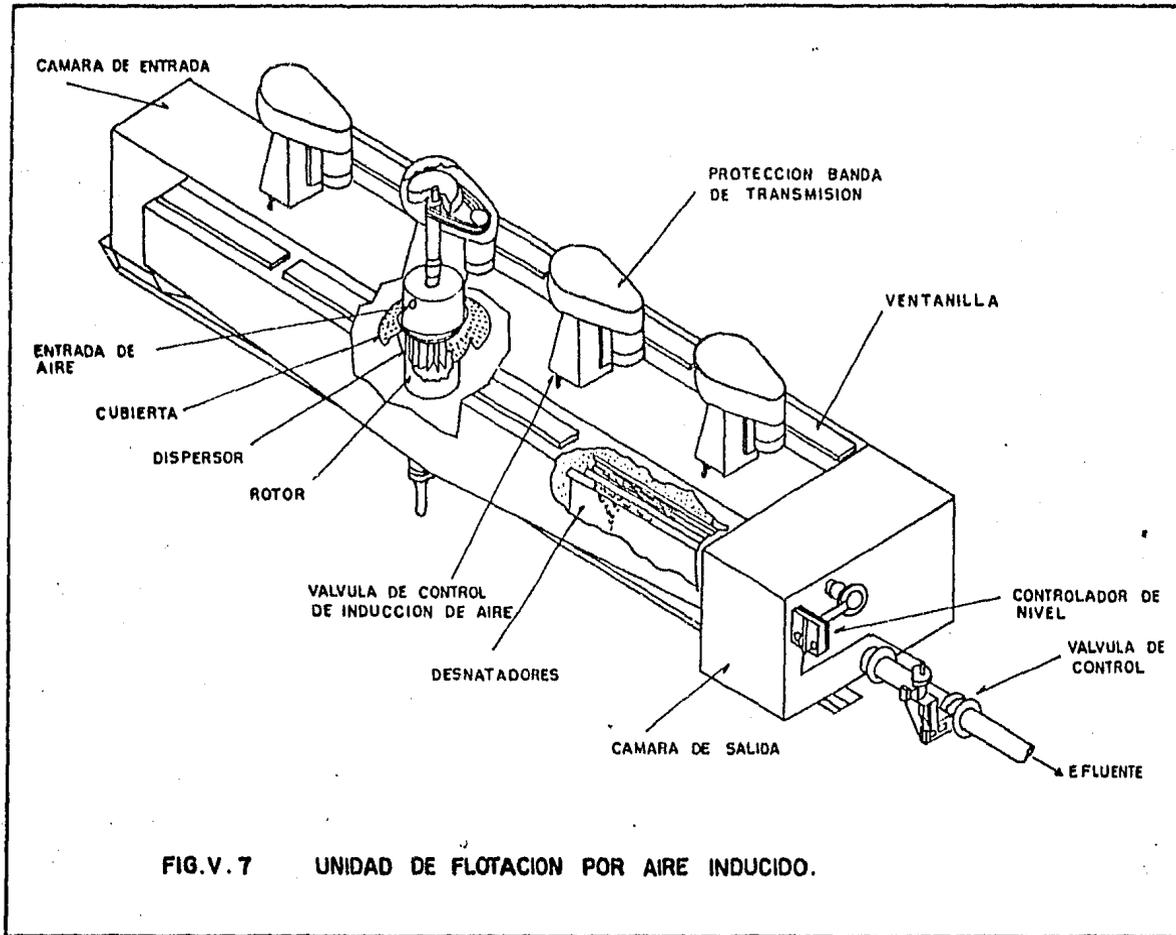


FIG.V. 6 CELDA DE FLOTACION.



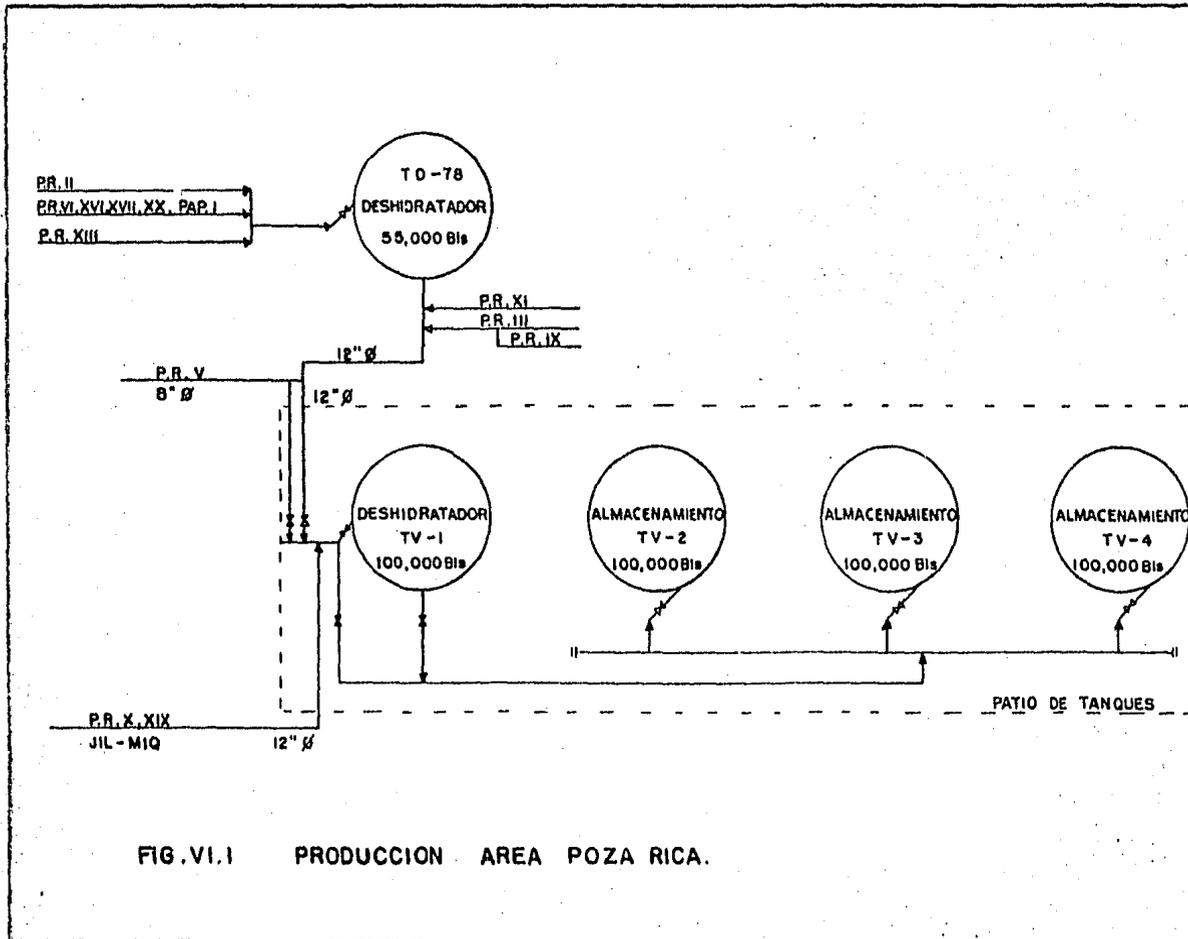


FIG. VI.1 PRODUCCION AREA POZA RICA.

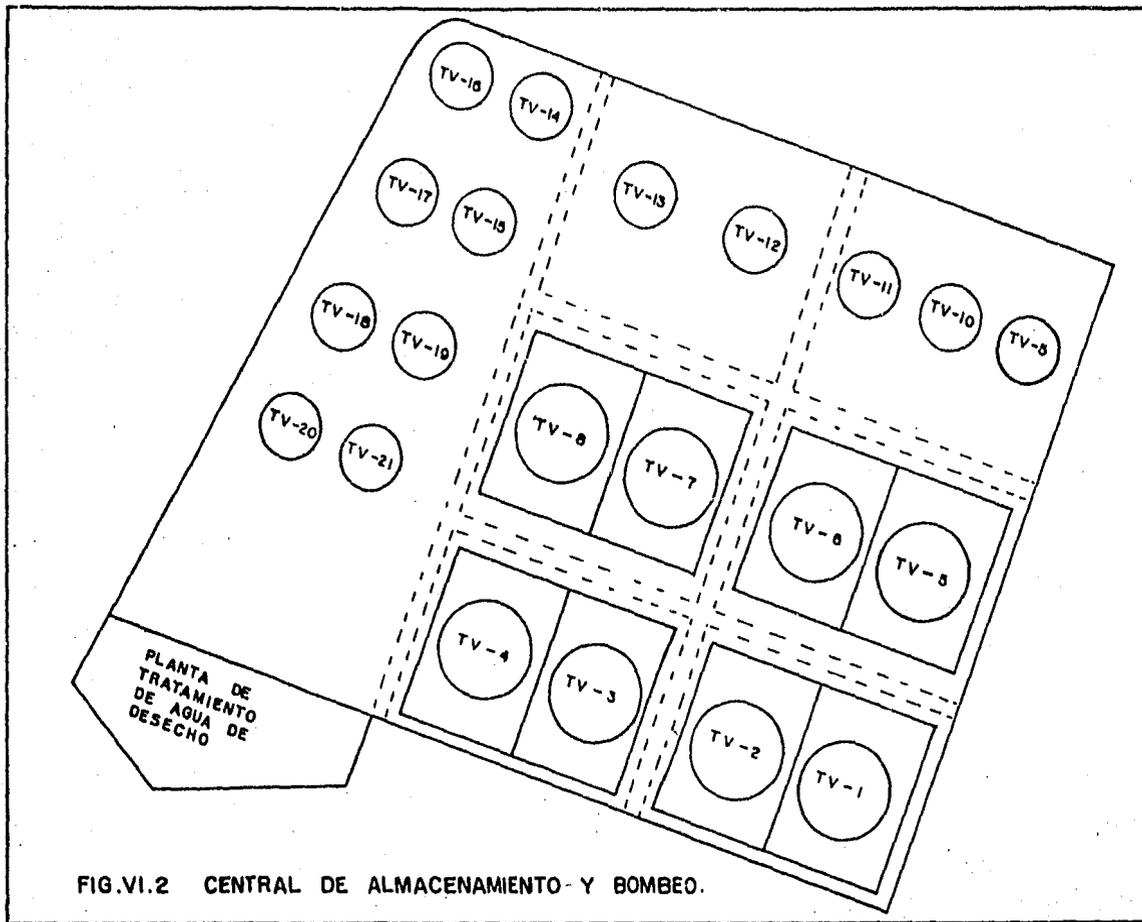


FIG.VI.2 CENTRAL DE ALMACENAMIENTO Y BOMBEO.

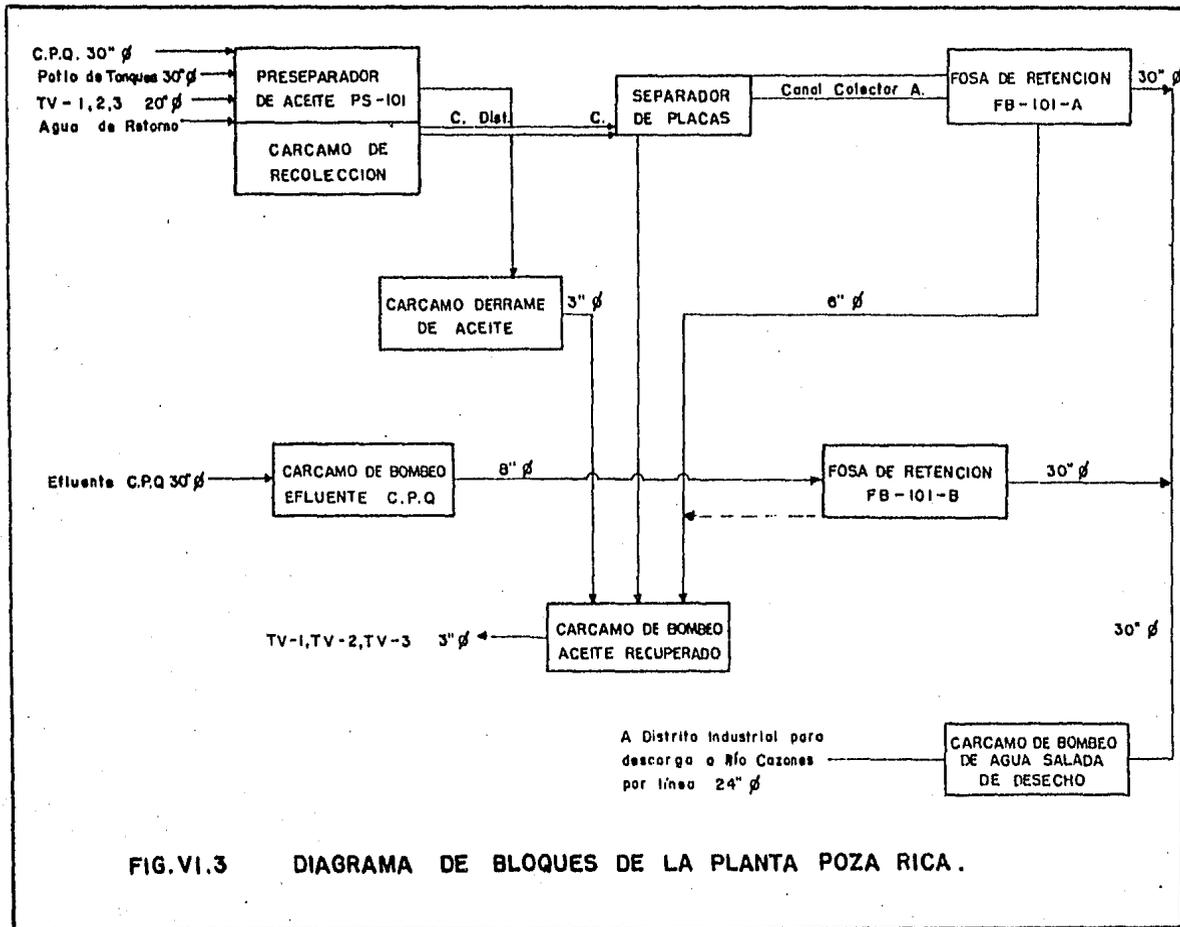


FIG.VI.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA PLANTA POZA RICA.

