



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

## Diseño y Experimentación de un Separador Aceite-Agua en Aguas de Desecho en Refinerías

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO  
PRESENTA  
**Roberto López Lorenzo**  
MEXICO, D. F. 1977



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.

.. Tesis 1917  
34 M-~~237~~ 240  
ECHA \_\_\_\_\_  
RBC \_\_\_\_\_  
• \_\_\_\_\_



QUIMICA

CON PROFUNDO AMOR Y RESPETO A MI TIO

JOSE LOPEZ C., ESPOSA E HIJO

GUIAS DE NUESTRAS GENERACIONES

A MI ESPOSA E HIJO

CON AMOR

A MIS PADRES

CON CARÍÑO

A MIS HERMANOS

PORQUE SE REALICEN

SUS ANHELOS

PRESIDENTE PROF.: CARLOS DOORMAN MONTERO

VOCAL: PABLO BARROETA GONZALEZ

Jurado Asignado

SECRETARIO: CARLOS BAZAN VILLEGAS

1er.SUPLENTE: GERARDO BAZAN NAVARRETE

2do.SUPLENTE: CARITINO MORENO PADILLA

Sitio donde se desarrolló el tema: Instituto Mexicano del Petróleo

Sustentante: Roberto López Lorenzo

Asesor del tema: Prof. Carlos Bazan Villegas

## C O N T E N I D O

<u>CAPITULO</u>	<u>PAG.</u>
I. INTRODUCCION	4 - 6
II. PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AGUA Y CONSIDERACIONES GENERALES DE LA CONTAMINACION DEL AGUA POR ACEITES	7 - 20
III. EQUIPOS Y METODOS PARA LA SEPARACION ACEITE-AGUA	21 - 36
IV. DISEÑO Y ESTUDIO EXPERIMENTAL	37 - 69
V. RESULTADOS	70 - 81
VI. CONCLUSIONES	82 - 83
VII. BIBLIOGRAFIA	84 - 85

## CAPITULO I

## INTRODUCCION

El presente trabajo tuvo como objeto estudiar la posibilidad de mejorar la eficiencia de separación de aceite-agua de los separadores convencionales API, que actualmente operan en las diferentes instalaciones de Petróleos Mexicanos.

Ya que debido a los reglamentos de protección ambiental sobre contaminación de las aguas que están actualmente en vigor y, en base a los estudios sobre tratamientos de aguas de desecho que se han efectuado en distintas refinerías de México, en los cuales se observó que el contenido de aceite en el efluente final después del tratamiento en los separadores API excede los valores que se establecen en las reglamentaciones Estandar Internacionales, implica una posible contaminación en el cuerpo receptor que generalmente son ríos, lagos o mares y una pérdida considerable de aceite.

Tomando en cuenta lo anterior, se establecieron dos objetivos para este estudio:

- a) Experimentar a escala piloto un diseño de separador para adaptarlo a los separadores API existentes.
- b) Diseñar un modelo de separador que sirviera de base para la construcción de los requeridos en el futuro.



Para tal fin, se diseñó un separador a escala piloto conservando la similitud geométrica de los API existentes; así mismo, se adoptó el sistema de placas paralelas a lo largo del separador y en la misma dirección del flujo.

Los separadores API tipo gravedad se utilizan para remover principalmente aceite y sólidos sedimentales de las aguas de desecho de una refinería. El diseño y tamaño depende de las características y volumen del agua de desecho aceitosa a ser tratada. La eficiencia de separación operando a una velocidad de flujo dada, depende de la temperatura del agua, densidad y tamaño de las partículas de aceite, así como de la cantidad y características de la materia suspendida.

Por otra parte, la eficiencia de diseño obtenida en cuanto a aceites en este tipo de separadores, no permite lograr los contenidos de aceite establecidos en las reglamentaciones que aparecen en literatura diversa para el control y prevención de contaminación de aguas. Sin embargo, con el afán de reducir cada vez más la concentración de aceites en los efluentes finales de refinерías, se han desarrollado varios sistemas de los cuales unos han sido mejoras a los separadores convencionales y otros son diseños totalmente nuevos basados en el mismo principio de operación.

Una de las mejoras hechas al separador convencional consiste en la

instalación de placas paralelas a lo largo de la cámara de separación en dirección del flujo e inclinadas a un cierto ángulo de la horizontal (Ver Figuras 1 y 2).

Las partículas de aceite se recolectan bajo la superficie de las placas por la cual se deslizan y ascienden a la superficie del líquido a través del canal abierto entre el ensamble de la placa y las paredes del separador.

Los sólidos se depositan por encima de las placas y se deslizan por los canales de sedimentación hacia el fondo del separador.

El principio de este sistema consiste en acortar la distancia del ascenso de la partícula de aceite, lo que implica una reducción en el tamaño del separador y una alta eficiencia en la remoción de aceite.

Posteriormente, con la experiencia de la modificación anterior, se desarrolló un nuevo sistema a base de placas corrugadas (Ver Figuras 3 y 4).

El interceptor de placas corrugadas, se coloca con cierto ángulo de inclinación en dirección del flujo, guardando una distancia corta entre placas.

Este sistema permite separar aquellas partículas cuya velocidad de ascenso o sedimentación sea inferior a 0.2 mm/seg, proporcionando efluentes hasta de 20 ppm de aceite.

## CAPITULO II

PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AGUA  
Y CONSIDERACIONES GENERALES DE LA CONTAMINACION  
DEL AGUA POR ACEITES

## II.1 Principales Contaminantes del Agua

a) Orgánicos

Este tipo de contaminante constituye el mayor problema alterante de las condiciones naturales del agua. Los desechos municipales principalmente y de algunas industrias como azucarera, alimenticia, insecticidas, detergentes, refinación del petróleo, etc., contribuyen con sustancias orgánicas de muy variada naturaleza, los desechos orgánicos de origen doméstico, son fácilmente atacables por microorganismos que los degradan en su mayoría, aunque con ciertos abatimientos del oxígeno disuelto del agua de los cuerpos que, de llegar a ser crítico, (menor o igual a 4 mg/l) afecta alguna especie de peces. Los industriales pueden presentar sustancias tóxicas (metales pesados, - pesticidas, insecticidas, etc.) que inhiben la biodegradación de la materia orgánica existente.

Dentro de este tipo de contaminante se clasifica el aceite que contami

na las aguas de desecho en las refinerías.

b) Biológicos

La contaminación del agua por bacterias y virus, provocada principalmente por desechos domésticos, causa enfermedades como el cólera, fiebre tifoidea, poliomielitis y otras no menos importantes.

c) Radioactivos

Los contaminantes radioactivos son rígidamente controlados en su fuente; sin embargo, el uso mas frecuente de trazadores radioactivos en la industria e investigación y descargas accidentales, incrementan su presencia en las aguas naturales.

d) Físicos

Los contaminantes físicos son color, temperatura, turbiedad, -  
olor y sabor.

d.1) Color

Es comunmente expresado en unidades de una escala arbitraria de platino-cobalto. Las fuentes de contaminación estan constituidas principalmente por las industrias del papel, petroquímica, textil y química.

#### d.2) Temperatura

La contaminación térmica puede ser producida por cualquier industria en general, pero en mayor cantidad por las plantas termoeléctricas y la industria del acero.

En agua donde se requiere mantener el equilibrio ecológico, se recomienda que la cantidad de calor añadida al curso de agua, no aumente su temperatura en 2.5°C. Para aguas estancadas, el aumento máximo es de 1.5°C.

#### d.3) Turbiedad

La turbiedad es causada por materiales en suspensión, tales como arcilla, aluvión, sustancias orgánicas e inorgánicas. El criterio deseado, es el de su completa ausencia. Su eliminación se lleva a cabo utilizando sedimentación o filtración.

#### d.4) Sabor y Olor

Para expresar el olor y sabor, se utilizan unidades arbitrarias basadas en patrones de alcohol n-butílico. El agua que excede el umbral de olor en tres unidades, es considerada objetable.

El olor es producido por gases disueltos en el agua, como el ácido sulfhídrico, amoníaco, etc.

El sabor es indicativo de la presencia en el agua de sales inorgánicas disueltas: de fierro, zinc, manganeso, cobre, sodio, etc., pues imparten sabores característicos. Los productos de refinación del petróleo, producen sabores indeseables en el agua.

e) Inorgánicos

Existe gran variedad de contaminantes inorgánicos, teniendo como fuentes originantes las urbanas, industriales, agrícolas y naturales. Los efectos provocados son diversos y dependiendo del uso a que se destine el agua.

Dentro de estos contaminantes tenemos amoniaco, fósforo, cromo, fierro, manganeso, plomo, mercurio, cianuro, arsénico.

## II.2 Consideraciones generales de la Contaminación del Agua por Aceites.

Dentro de las consideraciones de la contaminación del agua por aceites, se encuentran:

- a) Los posibles efectos del aceite en el agua
- b) Las características de la película microscópica de aceite
- c) Fuentes de aceite en las aguas de desecho

Se debe reconocer que, al partir de un punto de vista práctico, la presencia de pequeñas cantidades de aceite en las aguas puede o no ser dañina a la vida acuática y a las personas que usen estas aguas. La capacidad de servicio de tales aguas depende sobre todo de:

- 1) La localización de las aguas y de las características de sus alrededores.
- 2) La extensión, naturaleza y uso del agua
- 3) La cantidad, características y forma de aceite
- 4) Los derechos e intereses de los usuarios del agua

a) Efectos del Aceite en las Aguas

La ingestión de agua con sustancias aceitosas por los seres humanos o los animales (en una cantidad total), se puede considerar que es improbable que produzca una toxicidad aguda (porque su sabor y olor sería desagradable y nauseabundo); aunque es raro que cualquier agua sea usada para propósitos domésticos sin que se le haga una purificación preliminar diseñada para eliminar los organismos dañinos y otros materiales extraños.

Las pruebas indican que la cantidad de aceite residual aportado por el efluente de agua de desecho de una refinería, a cualquier corriente de agua, no es perjudicar su utilidad en los propósitos de irrigación. Los hidrocarburos, particularmente los de tipo aromáti

co que son altamente tóxicos, se emplean extensamente en el control del crecimiento de hierbas parásitas en los pozos de irrigación. Esta práctica no ha causado un daño importante en el nivel económico cuando se emplean agentes en proporciones y concentraciones necesarias para controlar las mas resistentes hierbas parásitas como las que se encuentran sumergidas. Para este punto de vista, es razonable considerar que no existe serio peligro de salud.

Las capas pesadas de aceite libre en el agua pueden actuar como una barrera a la transferencia de oxígeno de la atmósfera y a la penetración de la luz solar necesaria en la fotosíntesis.

#### a.1) Pesca Comercial

Se ha difundido la creencia de que las aguas contaminadas con aceites, destruyen la pesca o los organismos diminutos, los cuales constituyen su abastecimiento de alimento. Sobre esta cuestión, existe divergencia de opinión; sin embargo, hay razón para creer que algunos aceites afectan el sabor del pescado.

Los efectos de los productos aceitosos sobre el pescado y otro de vida acuática, puede atribuirse al aceite libre o a las emulsiones, las cuales revisten las agallas y se adhieren a las superficies de los organismos mas pequeños. - - Dentro de los límites, el pescado tiene un mecanismo defensi



sivo para combatir tal acción, pues secretan una mucosidad que les sirve para protegerse de las irritaciones.

Las capas pesadas y gruesas de aceite libre en el agua, - pueden interferir en el proceso de -aeración y fotosínte-  
sis. Las capas muy ligeras pueden no ser perjudiciales en este aspecto, ya que el oleaje y la turbulencia vencerán el efecto de la barrera.

El aceite libre y las emulsiones pueden cubrir y destruir las algas y al plancton, eliminando una fuente de alimentación del pescado. Los organismos cubiertos pueden conglom-  
merarse con sólidos suspendidos y sedimentarse en el fondo de la corriente, en donde ellos destruyen a su vez los or-  
ganismos que se encuentran en el fondo e interferir en las áreas de reproducción.

Los derivados solubles de los aceites solubles del petróleo en el agua, pueden dexoxigenar las aguas lo suficiente como para acabar con la pesca o ejercer una acción tóxica sobre el pescado y a los organismos que le sirven de alimentación.

#### a.2) Transportación

Los efectos adversos del aceite flotante en el uso del agua para la transportación, son solamente un peligro a la pintura de la armazón y el peligro potencial del fuego en la em -

barcación y en el borde la estructura.

El daño causado por las películas delgadas del aceite a la pintura de la armazón de las embarcaciones comerciales es despreciable. No obstante, la superficie de las películas, estropea la apariencia atractiva de la pintura brillante de una nave de placer.

Contrario a la opinión, el aceite flotante no representa un serio peligro de incendio. La gasolina derramada sobre la superficie del agua puede incendiarse rápidamente y presentar un peligro real porque se esparce y se evapora rápidamente, el peligro de fuego es generalmente de corta duración.

### a.3) Recreación

La mayor objeción en la presencia del aceite flotante ocurre cuando las aguas son empleadas para propósitos recreacionales o en las playas.

Las cantidades de aceite flotante o aceites en las playas usadas para bañarse, obviamente son desagradables para los bañistas. Este aceite daña la ropa de los bañistas y cuando es llevado a casa u otros lugares, puede dañar los pisos, las cubiertas de los pisos y los muebles.

La propiedad no industrial de la costa, deriva primaria - mente por las ventajas recreacionales y estéticas de una costa limpia y agua cristalina, pero cuando el agua es con taminada con aceite, la costa tiende a reducir el valor de la propiedad como lugar de recreo.

El establecimiento de centros de turismo en la costa, espe cialmente en los grandes puertos, es de valor desde el pun to de vista de salud. Este valor se ve atrasado, si no es - impedido, cuando las aguas contaminadas de aceite las in vaden.

Además de que la contaminación por aceite es perjudicial a la salud pública dando por resultado un desaliento en las costas de recreación.

La destrucción de las aves de caza, como resultado del contacto con las masas pesadas de aceite, ha sido otra -- causa de protesta por la contaminación por aceite.

b) Características de las Películas  
Microscópicas de Aceite.

Se ha determinado experimentalmente que el aceite colocado en una superficie de agua limpia de amplio tamaño, puede esparcirse a un espesor de una molécula; sin embargo, si la tensión superficial del agua ha disminuido por la presencia de sustancias contaminantes, esta película puede no aparecer.

Las películas de aceite de espesor microscópico son responsables de las bandas brillantes, muchas veces observadas en el agua.

Los experimentos que se han hecho para determinar que les pasa a estas películas de aceite muy delgadas cuando se exponen a la luz solar y al aire, indican que las películas con 0.0000076 cm de espesor generalmente no persisten por mas de 5 horas en una superficie de agua agitada.

Estos experimentos fueron las mas recientes comprobaciones de las pruebas llevadas a cabo en el mar; con grandes cantidades de aceite mezclado con el agua de mar y bombeado el aceite hacia el mar siendo observados durante períodos relativamente grandes de tiempo. Durante estos experimentos el aceite requerido fue de 40 - 100 horas para formar una película con un espesor promedio de aproximadamente 0.0001016 cm, pero una vez que se alcanzó este espesor, el bombeo de aceite requerido para que el aceite desapareciera de la superficie del mar fue menos de 24 horas.

A partir de los hechos anteriores, parece razonable asumir que las películas muy delgadas de aceite desaparecen del agua en un tiempo limitado por la operación de la naturaleza del fenómeno. Sin embargo, esto no será cierto si el aceite se descarga en la superficie del agua con una velocidad en la que se forma una capa de excesivo espesor.

Sobre la base de que las películas de 0.0000076 cm de espesor (0.0000731 lt/m<sup>2</sup>), no persisten mas de 5 horas en una superficie de

agua agitada, esto indica que el aceite puede ser descargado sobre las aguas con una velocidad de  $0.0000146 \text{ lt/hr m}^2$  sin que sea convenientemente visible por el ojo, con la condición de que la distribución sea uniforme en toda el área. También, puesto que las películas de - aproximadamente  $0.0001016 \text{ cm}$  de espesor desaparecen de la superficie del mar después de 24 horas de exposición, esto indica que el - - aceite descargado en las superficies de las aguas con una velocidad de  $0.0000409 \text{ lt/hr m}^2$  no puede ser acumulado bajo condiciones promedio. Esta velocidad probablemente daría como resultado una película microscópica continua.

El aceite descargado con el agua de desecho de los separadores en refinería puede ser dividido en tres clases:

1. Partículas diminutas de aceite las que en un período razonable de tiempo se elevan a la superficie de las aguas plácidas.
2. El aceite adherido a las partículas de sedimento las que causarían que el aceite se sumerja en un período razonable de tiempo en las aguas plácidas.
3. Aceite finamente dividido que permanecerá en suspensión en el agua plácida en un período relativamente grande.

Los efluentes de los separadores generalmente son descargados en las superficies de las aguas cerca de la costa y en una presa en -

donde la agitación considerable puede ocurrir. Esta práctica restringe la película inmediata del aceite en la vecindad de la costa y al mismo tiempo la agitación puede separar el aceite de las partículas de sedimento y causar que el aceite flote mas que cuando ocurre en ausencia de agitación.

A partir de estas dos consideraciones, tendremos las ventajas de que las aguas del efluente sean descargadas en la superficie a distancia de la costa y velocidades menores.

c) Fuentes de Aceite en las Aguas de Desecho

Esencialmente el petróleo es una mezcla altamente compleja de hidrocarburos con pequeñas cantidades de S, N y otros derivados oxigenados. Ordinariamente varían las cantidades de agua, sales solubles y materia mineral sólida asociadas con el petróleo. Es función de la refinería recibir el petróleo y eliminar el agua asociada, sólidos y otras impurezas y, a través de una variedad de proceso, obtener los productos comerciales del petróleo y entregarlos para su distribución y venta. En el curso de estas operaciones, especialmente en los procesos de refinación y en los métodos para transportar y almacenar el aceite, existe la oportunidad de escape de alguno de los aceites.

En una refinería el aceite crudo o sus fracciones, están sujetas a muchas operaciones de refinación tales como: destilación cracking térmico o catalítico, reformación, tratamientos químicos, alquilación, -

polimerización, isomerización y purificación de solventes. Durante estas operaciones, las aguas aceitosas pueden desalojarse de las plantas a las alcantarillas y en muchos lugares en que hay conexiones rotas, fugas en bombas, fugas de agua en los acumuladores de producto, conexiones de muestras, derrames, líneas estropeadas y condiciones similares.

En resumen, los grandes volúmenes de aceite pueden desalojarse a las alcantarillas durante emergencias, paros programados de las unidades en operación, limpieza del equipo y arranques. Los sistemas de aire en las plantas de cracking pueden descargar apreciables cantidades de aceite pesado en las alcantarillas. El agua de lavado de los productos obtenidos por tratamiento químico frecuentemente da como resultado pérdidas de aceite. Muchas refinerías están equipadas para facilitar la eliminación del agua salada que viene en el aceite crudo antes de la destilación y el desalojo de agua salada de los sedimentadores puede dar como resultado un escape de aceite.

#### c.1) Transporte y Almacenaje de los Aceites

Transporte de los Aceites. - Generalmente el aceite es entregado a la refinería por medio de tubería, barco o carro tanque. En el transporte del almacén puede involucrarse otro escape de aceite a través de fuga en válvulas, ducto, manguera por desbordamiento del tanque o la abertura acciden-

tal de una válvula.

Tanques de Almacenamiento. - En los tanques de almacenamiento se pueden presentar goteras causadas por la corrosión a todo lo largo del tanque o en las juntas. Después de que el volumen de aceite ha sido desalojado es necesario - eliminar periódicamente el sedimento acumulado y el agua aceitosa.

La eliminación del agua sedimentada en el aceite crudo y en los tanques de almacenamiento del producto, es frecuente acompañada por pérdidas de aceite hacia las alcan-tarillas. Las operaciones de limpieza de los tanques puede involucrarse el uso de vapor, el cual se condensa y el drenado del tanque contendría aceite y sedimento.



## CAPITULO III

EQUIPOS Y METODOS PARA LA SEPARACION  
ACEITE-AGUA

## III.1 Equipos

El método usual para prevenir el escape del aceite en las refineras apropiadamente involucra el drenaje y sistemas de recolección, mas los separadores de aceite tipo gravedad de suficiente capacidad para eliminar el aceite y sedimento del agua de desecho. Los separadores principales pueden ser complementados por separadores auxiliares, localizados en los puntos en donde pueda ser ventajoso tratar separadamente las aguas de desecho; tal arreglo permite la recolección del aceite en el punto de origen y prevenir la entrada al separador principal.

a) Separadores Aceite-Agua

Todos los separadores principales en una refinera deberán ser de un diseño y tamaño adecuado para eliminar eficientemente el aceite separable. La función de los separadores tipo gravedad depende sobre todo de la diferencia en gravedad del aceite y agua. La velocidad de flujo a través del separador tiempo de sedimentación y el diseño del separador son factores importantes para el comportamiento efectivo.

Los separadores tipo gravedad son usados en todos respectos en la industria petrolera.

Los separadores en las refinerías son construidos en dos o mas canales paralelos para mantener la continuidad de la operación cuando los canales individuales son drenados para reparación, limpieza o inspección.

Para determinar la susceptibilidad de la separación del agua de desecho aceitosa, ha sido llevada a cabo una prueba para indicar de una manera aproximada, que el grado de separación del aceite y del agua puede ser obtenido por la separación de la diferencial de la gravedad. La prueba es descrita en detalle en el Método API-734-53, Volumen IV; es útil en la localización de la fuente de las sustancias en una corriente del agua de desecho, que interfiere en la separación del aceite. Esta prueba no se llevó a cabo como un estandar de la eficiencia del separador porque el período de sedimentación y condiciones especificadas afectarán mas la separación que pueda ser obtenida por un separador comercial de tamaño práctico.

Los separadores de gravedad no proveerán el paso de todo el aceite emulsificado, las emulsiones deben de romperse antes de que sean descargadas al sistema de drenaje si los aceites están contenidos en un separador.

Los separadores no protegerán cualquier posibilidad de inundación en el caso de una elevación anormal en la superficie adyacente de las aguas.

Cuando hay cantidades considerables de desecho aceitoso en ciertas áreas de la refinería, puede ser ventajoso proveerse de separadores auxiliares para eliminar la mayor parte del aceite antes de que el agua sea descargada al sistema principal de drenaje.

Especiales precauciones deberán de tomarse para prevenir que un aceite con gravedad específica cercana a la del agua se vaya al sistema de drenaje.

Dentro de los separadores aceite-agua tipo gravedad, los mas comunmente utilizados en las refinerías son:

b) Separador API tipo Gravedad

Los datos de comportamiento de este separador deberán incluir como mínimo:

1. Diseño básico del separador
2. Comparación de la velocidad de flujo real con la velocidad de flujo de diseño.
3. Aceite contenido en el influente y efluente
4. Sólidos suspendidos en el influente y efluente

5. La gravedad específica del aceite eliminado (después de sedimentar y filtrar el agua eliminada).
6. Temperatura de operación
7. La gravedad específica del agua en el efluente
8. El porcentaje de aceite en el influente que sea "susceptible a la separación" medido por el método AP 734-B.

El diseño del proceso de un separador API está basado puramente en estimaciones arbitrarias concernientes a la diferencia de la gravedad específica y el tamaño promedio de la partícula entre el aceite y el agua.

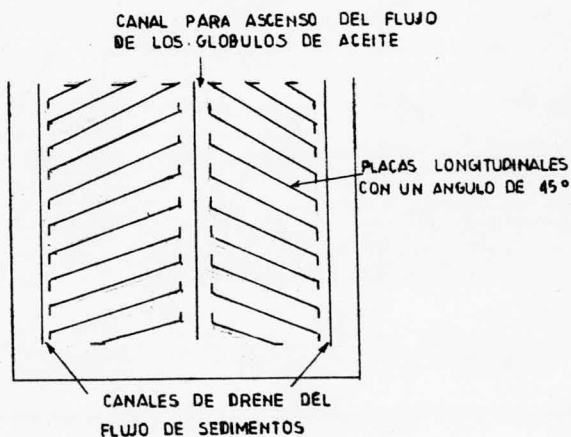
c) Interceptor de Placas Paralelas

El agua es básicamente desaceitada en los interceptores de aceite tipo gravedad, consistiendo de un flujo de baja velocidad, en el que los glóbulos de aceite ascienden hacia la superficie del agua. El aceite flotante es retenido por un deflector en el extremo del pozo del separador.

Como un principio para mejorar la intercepción del aceite, Shell introdujo en 1960 un interceptor de placas paralelas (PPI) el cual garantiza una mejor separación por la intercepción de las placas dentro de la palangana. Ciento de interceptores de placas paralelas son utilizados ahora en las refinerías de aceite de todo el --

mundo, ya que este interceptor realza grandemente la eficiencia de separación tipo gravedad.

El uso del interceptor es puesto a disposición bajo licencia de la organización Shell. Básicamente es un separador API con placas de acero longitudinales instaladas paralelamente a lo largo del eje del separador (dirección del flujo) e inclinadas en un ángulo de  $45^{\circ}$  a la horizontal. La sección transversal del separador, mirando en la dirección del flujo es esquemáticamente mostrada a continuación:



En la elevación de los glóbulos de aceite, éstos son coagulados abajo de la superficie de cada placa, deslizándose de la placa y elevándose a la superficie a través de los canales del flujo de aceite. El sólido sedimentado se desliza del extremo de la superficie de la placa a través de los canales de sedimento hacia el piso del separador. Kirby y Brunsmann, Correlissen y Eilers, han publicado varios escritos para comprobar que el interceptor de placas paralelas logra una mayor eliminación de aceite, comparable con el separador API. Como un cordario, los requerimientos para la eliminación del mismo aceite, el interceptor de placas paralelas permitirá el uso de una instalación mas pequeña.

Sin embargo, con la experiencia ganada con el interceptor de placas paralelas se ha desarrollado un modelo mas avanzado; es decir, un interceptor de Placas Corrugadas (CPI).

Las ventajas básicas sobre el PPI son el menor costo, la facilidad de limpieza y el uso de placas a prueba de corrosión.

d) Interceptor de Placas Corrugadas.

El interceptor de placas corrugadas fue desarrollado para responder a la necesidad de una mayor eficiencia en la eliminación del aceite y lodo del agua de desecho de las refinerías.

El interceptor de placas corrugadas, consiste de una caja rectangular reforzada con plástico o estructura soportada, abierta en ambos extremos para permitir que la corriente principal fluya a través de la unidad. En el interior de la caja se encuentra una caja de placas que está unida a la estructura soportada. Dependiendo de la capacidad deseada, la caja de placas consiste de 24 ó 47 hojas - plásticas corrugadas montadas paralelamente una a otra, de aproximadamente 1.9 cm ó 3.81 cm separadas en la estructura. Las dimensiones estandar globales de la caja CPI son 96.5 alto x 42 cm ancho x 175.6 de fondo.

Ambos extremos de la placa corrugada están unidos a un sistema de canal para eliminación de los líquidos y sólidos recolectados. La unidad entera está instalada en la losa del separador en una manera inclinada con un ángulo de  $45^{\circ}$ , con las placas en dirección transversal y paralelamente a la horizontal del fondo en dirección longitudinal.

Para lograr una distribución uniforme del líquido, se coloca una placa deflectora que canaliza uniformemente la corriente principal hacia los canales corrugados.

Ya que las placas están instaladas en un ángulo inclinado, conforme la corriente separada pasa a través del interceptor, los ma-

teriales pesados acumulados caen en la superficie de las corrugaciones en el fondo del interceptor, en donde entran al sistema de canal. Los canales guían la materia hacia el fondo de la fosa colectiva, lejos de la corriente principal. Las placas espaciadas cercanamente producen un flujo laminar y los sólidos viajan solamente una corta distancia para alcanzar las corrugaciones, proporcionando las condiciones ideales para una rápida separación por gravedad.

El aceite, u otros materiales con una gravedad específica menor que la corriente transportada, ascienden a las cimas de las corrugaciones conforme la corriente pasa a través del interceptor. Este material es ligero y viaja hacia las cimas de las corrugaciones hasta que entra al sistema de canal en el extremo del interceptor. De aquí el material es dirigido al extremo de la fosa, otra vez lejos de la corriente principal para evitar el peligro de entrada; es entonces rápidamente enviado por un relosamiento en la fosa del acumulador o algún otro aparato.

#### d.1) Aplicaciones

El interceptor de placas corrugadas es un aparato para la separación heterogénea de sustancias mezcladas, transportadas en un líquido tal como el agua. La unidad es única y el material es un tanto ligero como pesado en el flu-



jo de la fase, pudiendo ser eliminado de la corriente.

Algunos usos típicos son los siguientes:

1. Refinerías de Aceite. - En refinerías en que se requieren excelentes preventores de contaminación para la separación del aceite y lodo de las corrientes de desecho.
2. Plantas Químicas. - Separación del aceite insoluble de las plantas químicas y lodos de las alcantarillas.
3. Plantas de Aceite Natural. - Para la separación de grasas y otras sustancias orgánicas.
4. Procesamientos de la Remolacha Azucarera. - Para la eliminación de la arena y arcilla.
5. Procesamientos de Maíz y Papa. - Para la recuperación de la fécula.
6. Plantas Fertilizadoras. - Para la separación del yeso - de los ácidos fosfóricos.

El primer interceptor de placas Heil vendido en los Estados Unidos para una fosa de separador fue en Argo, - Illinois, terminal de la Shell Oil Company. Uno de los usos populares del aparato en Europa es en la industria del aceite en donde utilizan preventores de contaminación para la separación de las impurezas del agua de desecho. Indudablemente existen otras muchas industrias que utilizan agua en grandes cantidades, en donde estas unidades cumplen una función muy útil como en las fábricas, plantas químicas industriales petroquímicas y las industrias metálicas primarias.

#### d.2) Ventajas

Compacto. - El tamaño compacto del interceptor de placa corrugada es una de las ventajas principales. Para una corriente dada conteniendo por ejemplo, 2000 ppm de aceite en el efluente del separador de un interceptor de placas corrugadas contendrá menos de 20 ppm de -- aceite, comparado con el interceptor de aceite tipo deflector el cual contendrá 100 ppm de aceite. Por lo tan to, para un contenido de aceite dado de la descarga, el interceptor de placas corrugadas requerirá solamente un 20% del espaciamiento de un separador tipo deflector. En resumen, promueve el ahorro de espacio y reduce los requerimientos del terreno, el interceptor de placas corrugadas puede ser arreglado en pilas.

1. No utiliza partes móviles. - No hay partes móviles en la unidad ni desgaste, ya que no hay raspadores o agitadores, por lo cual los costos de mantenimiento prácticamente no existen.
2. Resistencia a la corrosión. - La unidad es construida - 100% de materiales plásticos. Resistente a las formulaciones ácidas o alcalinas.
3. Sin obstrucción. - Las unidades normalmente se limpian por si mismas, ya que en el flujo de lodo en las "cimas" de las corrugaciones bajo modelos favorables de flujo, - esta unidad tiende a limpiarse. La superficie brillante y lisa de la superficie de la caja plástica y de las hojas, - minimiza la acumulación de la materia extraña. Por lo tanto, si la obstrucción ocurriera, la unidad puede ser limpiada mediante un flujo con manguera.

La unidad puede también removerse de la cámara para limpiarse mecánicamente.

Eficiencia. - Las unidades tienen una eficiencia del 98%.

Los resultados buenos son reportados en la eliminación de todas las partículas mayores de 10 micrones.

Menor Costo. - El tamaño compacto de la unidad permite menores costos totales de construcción, siendo ligera y fácil de manejar, los costos de construcción son al mínimo y, por lo tanto, la carencia de partes móviles, hace que los costos de mantenimiento sean también mínimos.

Flujo Laminar. - El uso de placas corrugadas crea un flujo laminar el cual es ideal para la separación tipo gravedad y no puede ser obstruida en las grandes secciones transversales de los interceptores convencionales.

d.3) Datos Comparativos en Refinería de los Separadores de Agua de Desecho.

Las capacidades relativas de los tres tipos comunes de separadores usados en refinerías, están ilustrados en la tabla siguiente:

	<u>Caso I</u> (ppm aceite) <u>descarga</u>	<u>Caso II</u> (m <sup>2</sup> ) de área <u>superficial</u>
Separador API tipo Gravedad.	100	930
Interceptor de Pla- cas Paralelas	25	232
Interceptor de Pla- cas Corrugadas	20	186

Así, para una corriente conteniendo 2000 ppm de aceite en el efluente del separador API contendrá 100 ppm de aceite, el PPI y CPI 25 y 20 ppm respectivamente. O alternativamente, para un contenido de aceite dado en la descarga, el separador API requerirá 4 veces de área superficial. Puesto que el separador de cualquier tipo de placa puede ser arreglado en pilas, los requerimientos del terreno son, por lo tanto, mucho mas pequeños. El tamaño compacto, costo y peso del interceptor de placas corrugadas, acopladas con la operación automática, lo hacen entonces ideal para uso general.

### III.2 Métodos Químicos

Los métodos eficientes para la resolución de emulsiones originadas en una refinería, generalmente son desarrolladas después de que

se tiene el estudio y pruebas de laboratorio (Ver Capítulo IV). Alguno de los métodos que pueden ser mencionados brevemente e involucra -

1. neutralización de la emulsión y subsecuentemente la adición de la sal de un metal pesado. También, la aplicación frecuentemente de calor romperá las emulsiones del aceite y del agua, tal como en los tanques de sedimentación. Cuando el calentamiento no es efectivo, la adición de un agente químico deshidratante, tal como el NaOH en solución; algunas veces ayudará al proceso de rompimiento. Los agentes químicos desemulsificantes, filtración, energía eléctrica, también se han empleado para romper las emulsiones en el fondo del tanque. Los métodos químicos modernos incluyen la floculación química, flotación de aire y gas.

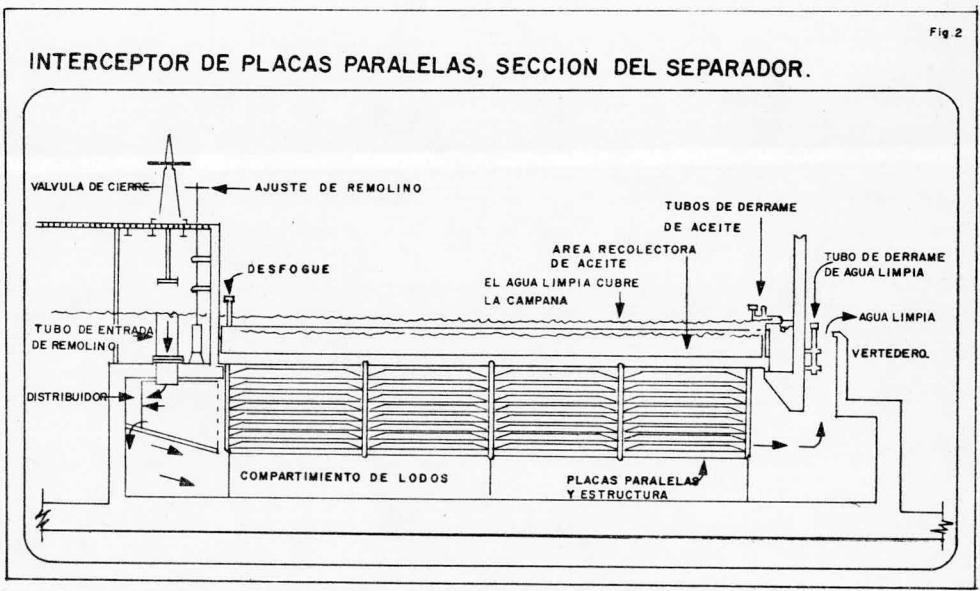
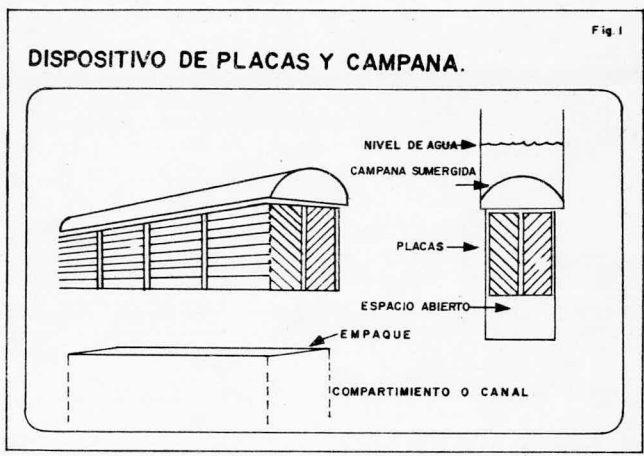
El uso de la floculación involucra la adición de compuestos químicos (generalmente aluminio o compuestos de hierro) al agua de desecho para formar un flóculo gelatinoso el cual atrapa las partículas de aceite y se elimina entonces del agua por sedimentación. Este tratamiento es aplicado solamente después de que al aceite se le ha eliminado el agua pasando a través de un separador aceite-agua tipo gravedad.

La floculación generalmente puede depender sobre todo del contenido de aceite de un agua de desecho en un nivel satisfactorio. Sin embargo, los costos de operación y del equipo son altos, y la elimina-

ción del flóculo aceitoso puede constituir un problema.

En algunos casos, los agentes químicos flocculantes pueden ser reusados para disolver el flóculo aceitoso con ácido, separación del aceite de la solución, y entonces los agentes químicos flocculantes reprecipitan por la sosa o por la dispersión de la solución en un desecho alcalino.

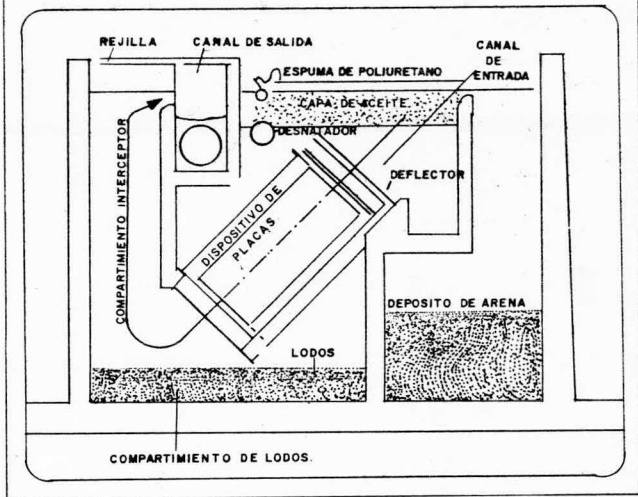
Una unidad de flotación por aire o gas convenientemente diseñada y operada, en algunos casos, proveerán un medio efectivo para la eliminación del aceite libre en el agua de desecho. Cuando los agentes químicos coloidantes son agregados, el flóculo coloidal, ayudado por la flotación por aire o gas, proveerá un método efectivo de eliminación de emulsiones y generalmente producirán un efluente de bajo contenido de aceite. El agua de desecho sujeta a estos tratamientos generalmente se le ha eliminado previamente el aceite por el pasaje del agua a través de un separador tipo gravedad.



DESACEITADOR PARA AGUAS DE DESECHO Shell CPI

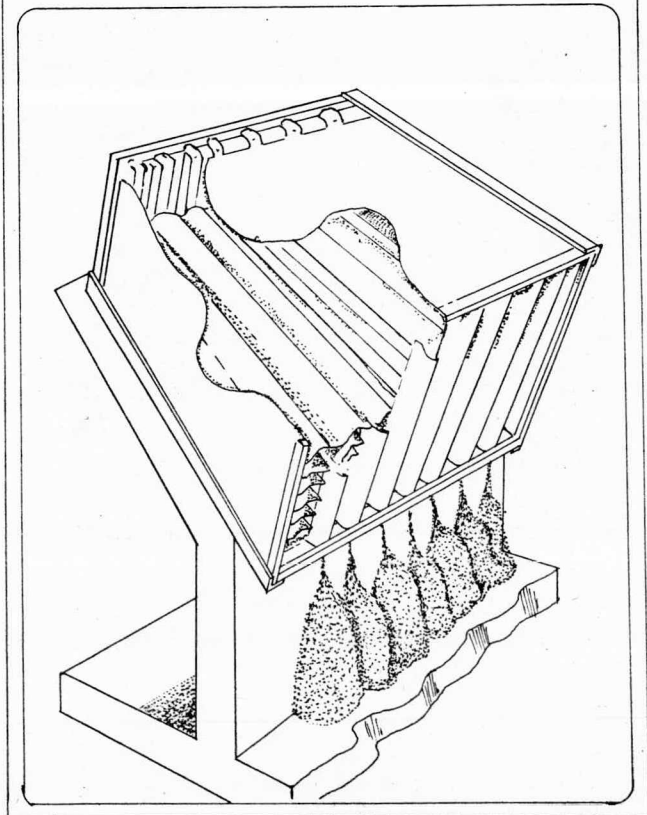
Fig 3

36)



NUEVO INTERCEPTOR DE PLACAS CORRUGADAS Shell

Fig 4





## CAPITULO IV

## DISEÑO Y ESTUDIO EXPERIMENTAL

## IV. Principios Básicos de Diseño

Los principios básicos de la separación por la diferencial de la gravedad pueden ser expresados matemáticamente y aplicados cuantitativamente. Cuando una partícula se mueve libremente en un fluido y es sujeta a la fuerza gravitacional, la velocidad de ascenso o sedimentación con respecto al fluido llega ser constante cuando la resistencia al movimiento es igual al peso de la partícula en el fluido. En otras palabras, la resistencia al movimiento de una partícula en un medio líquido es igual al peso efectivo de la partícula cuando la velocidad final ha sido alcanzada, ejemplo, cuando la aceleración causada por la gravedad llega a ser cero. La ecuación general para esta resistencia, fue propuesta primero por Newton y es:

$$D_F = C_A \left( \frac{P_w V^2}{2} \right) \quad (1)$$

donde

- $D_F$  = resistencia al movimiento de la partícula en un medio líquido, dinas.
- $C$  = coeficiente de resistencia al movimiento (adimensional)
- $A$  = área proyectada de la partícula (glóbulo de aceite) en  $cm^2$
- $P_W$  = densidad del medio líquido (agua en  $g/cm^3$ )
- $V$  = velocidad final de la partícula (glóbulo de aceite) en el medio líquido (agua),  $cm/seg$ .

La ecuación para el peso efectivo de la partícula es:

$$W = \left( \frac{\pi D^3}{6} \right) (P_W - P_o) g \quad (2)$$

donde:

W = peso efectivo de la partícula (glóbulo de aceite) en el medio líquido (agua) en dinas.

D = diámetro de la partícula (glóbulo de aceite), en cm

P<sub>o</sub> = densidad de la partícula (glóbulo de aceite), g/cm<sup>3</sup>

g = aceleración causada por la fuerza de la gravedad, 981 cm/seg<sup>2</sup>

Igualando las fórmulas (1) y (2):

$$CA \left( \frac{P_W v^2}{2} \right) = \left( \frac{\pi D^3}{6} \right) (P_W - P_o) g \quad (3)$$

Puesto que la partícula es una esfera:

$$A = \left( \frac{\pi D^2}{4} \right)$$

$$C \frac{\pi D^2}{4} \left( \frac{P_W v^2}{2} \right) = \left( \frac{\pi D^3}{6} \right) (P_W - P_o) g$$

Simplificando términos:

$$\frac{\pi D^2}{4} \frac{v^2}{2} \frac{6}{\pi D^3} = \frac{(P_W - P_o) g}{C P_W}$$

$$\frac{3 v^2}{4 D} = \frac{(P_W - P_o) g}{C P_W}$$

La velocidad de ascenso es:

$$V = \sqrt{\left(\frac{4 D}{3}\right) \left[ \frac{(P_W - P_o)}{C P_W} g \right]} \quad (4)$$

La ecuación para la resistencia al movimiento de una partícula esférica pequeña esta dada por su velocidad final:

$$D_F = 3\pi \mu DV \quad (5)$$

donde:

$\mu$  = viscosidad absoluta del agua de desecho turbia a la temperatura de operación, en poises.

Si  $W$  en ecuación (2) se iguala a  $D_F$  en la ecuación (5), se obtendrá una nueva expresión para  $V$ , por la sustitución de  $V_r$ , la velocidad de ascenso de los glóbulos de aceite (cm/seg), para el término general  $V$ , da lugar a la bien conocida Ley de Stokes para la velocidad final de esferas en un medio líquido sería aplicable a la velocidad de ascenso de los glóbulos de aceite en el agua como:

$$V_r = \left(\frac{g}{18\mu}\right) (P_W - P_o) D^2 \quad (6)$$

Esta ecuación incluiría teóricamente (\*) un coeficiente de deformación dependiendo de las viscosidades relativas del aceite y del agua; sin embargo, en la práctica, el coeficiente no requiere una estimación de la velocidad de ascenso para los pequeños glóbulos de aceite en el agua de desecho. Las ecuaciones (5 y 6) son estrictamente correctas solo cuando el Número de Reynolds de la elevación de la partícula (basado en el diámetro de la partícula) es menor de 0.5.

(\*) Teóricamente, la consideración nos daría la naturaleza deformable de un glóbulo de aceite al elevarse a través de un medio líquido por el cambio de forma causado por el contacto con el líquido a través del cual se eleva. Este cambio de forma da como resultado un flujo interno, ya que la resistencia al movimiento de la partícula es minimizado, y se obtienen velocidades de ascenso mayores. W.N. Bond [Phil. Mag. 7 [4] 889(1927)] ha expresado este efecto en término de viscosidades de la partícula y del medio como sigue:

$$C_V = \frac{\frac{2}{3} + \frac{\mu_1}{\mu_2}}{1 + \frac{\mu_1}{\mu_2}}$$

donde:

$C_V$  = coeficiente de deformación teóricamente aplicable a la ecuación (6); Ver ecuación (6a); adimensional.

$\mu_1, \mu_2$  = viscosidad absoluta de la partícula y del medio respectivamente.

Si esta corrección para el flujo interno es aplicada a la ecuación (6) Ley de Stokes, para la determinación de la velocidad de ascenso de una partícula de aceite en el agua sería:

$$V_t = \left( \frac{1}{C_V} \right) \left( \frac{1}{18} \right) \left( \frac{g}{\mu} \right) (P_W - P_O) D^2 \quad (6a)$$

donde:

$V_t$  = velocidad de ascenso del glóbulo de aceite (0.015 cm de diámetro en el agua de desecho, cm/min.

Sin embargo, en la aplicación de esta ecuación para el diseño de los separadores del agua de desecho, el factor  $C_V$  puede ser omitido para propósitos prácticos, porque este valor es muy cercano a la unidad por las viscosidades del aceite al ser separado del agua de desecho de las refinerías.

a) Tamaño y Gravedad de los Glóbulos de Aceite.

La aplicación de la ecuación (6) a los glóbulos de aceite en el agua de desecho, ha sido investigada y determinada a partir de los resultados de los experimentos y de los datos de operación de la planta para el diseño de los separadores del agua de desecho, basados en la velocidad de ascenso de los glóbulos de aceite que tienen diámetro de 0.015 cm. Este tamaño de glóbulo ha sido adoptado arbitrariamente

te para los propósitos de diseño porque los experimentos del laboratorio y el estudio de los datos en las plantas indican que se obtienen satisfactorias eliminaciones de aceite cuando el diámetro de la partícula es de 0.015 cm.

Con un valor de 0.015 cm para D en la ecuación (6), la velocidad de ascenso de tales glóbulos de aceite en el agua de desecho puede ser expresado en cm/min.

$$V_t = 0.0241 \left( \frac{S_W - S_o}{\mu} \right)^* \quad (7)$$

donde:

- $V_t$  = velocidad de ascenso del glóbulo de ascenso (0.015 cm de diámetro) en el agua de desecho, cm/min.
- $S_W$  = gravedad específica del agua de desecho turbia a la temperatura de diseño del flujo.
- $S_o$  = gravedad específica del aceite de desecho a la temperatura del flujo.

Todas estas propiedades físicas serán determinadas por mediciones reales siempre que sean posibles. En vez de mediciones directas, los valores dados en el Apéndice I o las curvas de las Figuras 2 y 3 darán valores razonables para la gravedad específica y viscosidad del agua de desecho.

(\*) Nótese que  $S_W$  y  $S_o$  son gravedades específicas y numéricamente con parecidos, pero difieren dimensionalmente de  $P_W$  a  $P_o$ , pudiendo ser reemplazadas.

Para checar las dimensiones de esta fórmula, es necesario notar que el número 0.0241 fue obtenido de factores dimensionales y por lo tanto, tiene las dimensiones de estos factores, las cuales son:

$$\left( \frac{981 \text{ cm}}{\text{sec}^2} \right) \left( \frac{1}{18} \right) \left( \frac{1 \text{ ft}}{30.5 \text{ cm}} \right) \left( \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \right) \left[ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} (0.000225 \text{ cm}^2) \right]$$

$$= \frac{0.0241 \text{ g ft}}{(\text{seg})(\text{min})(\text{cm})}$$

b) Criterio Básico de Diseño

La ecuación (7) puede ser aplicada en el diseño de las cámaras del separador rectangular si los glóbulos de aceite en las aguas de desecho tienen 0.015 cm de diámetro y el flujo del agua de desecho es uniforme y libre de corrientes en remolino. La existencia de tales condiciones ideales está limitada en los separadores de las refineras. Los datos de operación de la planta y de los estudios del separador modelo indican que un alto porcentaje de aceite es susceptible a la separación por gravedad, el cual será separado del agua de desecho y retenido en las cámaras rectangulares de dimensiones mínimas, calculadas a partir de la velocidad de ascenso de un glóbulo de aceite de 0.015 cm de diámetro.

El diseño de la cámara de un separador rectangular está basado principalmente en 3 relaciones:

Area Horizontal Mínima  $A_H$ , expresada como:

$$A_H = F \left( \frac{Q_m}{V_t} \right) \quad (8)$$

donde:

$F$  = factor para contrarrestar los efectos de turbulencia

$Q_m$  = flujo del agua de desecho,  $\text{cm}^3/\text{min}$

Area Mínima Vertical de la Sección Transversal,

$A_c$ , calculada de la fórmula:

$$A_c = \frac{Q_m}{V_H} \quad (9)$$

donde:

$V_H$  = velocidad horizontal del flujo no mayor de 15 veces la velocidad de ascenso y ni excedida 0.91 m/min.

Relación Mínima Profundidad/Ancho de 0.3 :

$$\frac{d}{B} = 0.3 \quad (10)$$



donde:

- d = profundidad del agua de desecho en el separador, cm  
 B = ancho de la cámara del separador, cm

Estas 3 relaciones son derivadas y definidas de la manera siguiente:

c) Area Horizontal Mínima del Separador

En un separador ideal, por ejemplo, aquel en el que no existe turbulencia o remolinos, la eliminación de una suspensión dada es una función de la descarga dividida por el área superficial, o de la velocidad de ascenso. La velocidad de reboso tiene las dimensiones de velocidad. Cualquier glóbulo de aceite cuya velocidad de ascenso sea igual o mayor que la velocidad de reboso, será removido en un separador ideal. Así, cualquier partícula cuya velocidad de ascenso es igual o mayor que la profundidad del agua dividida -- por el tiempo de retención, alcanzará la superficie aunque parta -- del fondo de la cámara. Cuando la velocidad de ascenso es igual la velocidad de reboso de la relación es expresada como:

$$V_t = \frac{d_i}{T_i} = \frac{d_i}{\frac{L_i B_i d_i}{Q_m}} = \frac{Q_m}{L_i B_i} = V_o \quad (11)$$

donde:

$d_i$  = profundidad del agua de desecho en el separador ideal, cm

$T_i$  = tiempo de retención en el separador ideal, min.

$L_i$  = longitud del separador ideal, cm

$B_i$  = ancho del separador ideal, cm

$V_o$  = velocidad de rebose, cm/min.

La ecuación (11) establece que el área superficial requerida para un separador ideal es igual al flujo de agua de desecho dividida por la velocidad de ascenso del glóbulo de aceite.

Las ediciones previas de este volumen recomienda un desecho el cual se basó en un glóbulo de aceite 0.02 cm de diámetro, pero con un factor de seguridad de 2.4 aplicado al área superficial. Las pruebas en los separadores experimentales indican que el factor F, como se muestra en la ecuación (8), estaría basado en los efectos de turbulencia. Como un resultado de los estudios experimentales, un factor de 1.2 es recomendado para permitir un corto circuito.

Para los efectos de turbulencia, Camp., muestra que éste aumenta con la velocidad de eliminación deseada y con la relación de velocidad horizontal promedio a velocidad de ascenso de la partícula,  $V_t$ .

El producto del factor (corto circuito) y los rendimientos del factor de turbulencia  $F_1$ , por el cual el área superficial del separador ideal es multiplicado para obtener el área superficial requerida en un separador real.

Se notará que en el método de diseño recomendado, que el valor del área horizontal  $A_H$ , no es determinada directamente, pero que valores aceptables de ancho y profundidad son establecidos primero de acuerdo con las relaciones mostradas en las ecuaciones (9 y 10). La longitud es entonces calculada de la fórmula:

$$L = F \left( \frac{V_H}{V_t} \right) d \quad (12)$$

donde:

$L$  = longitud de la cámara del separador, en cm.

La ecuación (12) es derivada a partir de la ecuación (8) como sigue

$$A_H = L_B = F \frac{Q_m}{V_t}$$

$$L = F \left( \frac{V_H}{V_t} \right) \left( \frac{A_c}{B} \right) = F \left( \frac{V_H}{V_t} \right) \left( \frac{B_d}{B} \right)$$

$$L = F \left( \frac{V_H}{V_t} \right) d$$

d) Area Mínima de la Sección Transversal de un Separador.

El propósito de esta especificación es limitar la extensión de la turbulencia, la cual afectará la operación del separador. Los efectos de turbulencia, explicados en los párrafos precedentes aumentan con la relación de la horizontal a la velocidad de ascenso. Teóricamente, se puede compensar el efecto de la turbulencia disminuyendo la velocidad de ascenso. Una velocidad máxima de relación  $\frac{V_H}{V_t}$  de 15 - 1 ha sido seleccionada.

Un valor máximo de  $V_H$  de 0.91 m/min no es excesivo y puede ser usado como un criterio para el diseño de los separadores de acuerdo con las recomendaciones propuestas en este capítulo.

e) Relación Mínima de Profundidad-Ancho

Así como la velocidad horizontal máxima, la relación profundidad-ancho tampoco está sujeta a un análisis teórico. Sin embargo, las pruebas realizadas en los separadores experimentales indican que, para cámaras con la misma área superficial, la influencia de la profundidad en la retención del aceite no es tan marcada hasta que la relación profundidad-ancho es menor de 0.3. Con valores de relación profundidad-ancho de 0.2 exis

te una apreciable disminución en la eliminación, cuando las --  
comparaciones son hechas con cámaras que tienen valores ma-  
yores de d/B.

No existe objeción, en los dictados económicos, al usar re-  
laciones de profundidad-ancho de aproximadamente 0.5.

f) Número y Dimensiones Básicas de los  
Canales en el Separador.

En la explicación de las 3 relaciones recomendadas para el  
diseño de un separador, puede encontrarse que 2 o mas canales  
paralelos requerirán el conocimiento de las limitaciones prácti-  
cas necesarias para la instalación y operación de los limpiado -  
res recomendados. Estas limitaciones son:

1. Los canales de los separadores equipados con limpiado-  
res normalmente están limitados a un ancho de 6.09 m.
2. En el efecto disturbante de la operación de los limpiado\_  
res en las aguas poco profundas se recomienda que el an\_  
cho mínimo del agua será de 0.91 m.
3. Se recomienda como -primera consideración- el uso de  
secciones paralelas para que así una unidad esté disponi-  
ble para uso cuando sea necesario que una unidad pa-

ralela sea puesta fuera de servicio para propósitos de reparación.

En resumen estas limitaciones y las 3 relaciones mínimas pueden ser condiciones topográficas las cuales pueden limitar la selección en el número y dimensiones de los canales en la instalación de un separador. Bajo condiciones generales; sin embargo, el número de canales, estarán determinados por la relación de las mínimas, área de la sección transversal, total, vertical requerida en la área máxima de la sección transversal de los grandes canales. El número de canales será entonces el siguiente número mayor de esta relación. Una vez determinados éstos, el diseño del canal individual procede junto con las recomendaciones dadas en el ejemplo, los cuales sirven primero para determinar las secciones transversales, y luego para determinar la longitud requerida para el diseño de la velocidad de reboso.

Es reconocido que existen varias combinaciones de dimensiones las cuales darán el valor deseado de una sección transversal para un diseño particular. Dentro de estas limitaciones, la selección de dimensiones puede ser hecha de acuerdo a las condiciones locales. La profundidad estaría limitada a un máximo de 2.43 m.

Los estudios experimentales han demostrado que las características hidráulicas son mejoradas por el incremento y reducción de la longitud y ancho respectivamente. Dentro de los límites recomendados de diseño, al mejorarse la retención del aceite se mejoran las características hidráulicas aunque no ha sido confirmado experimentalmente. Un canal largo tiene el efecto de minimizar la influencia perturbante en las zonas de entrada y salida.

Por lo tanto, un separador debería de ser diseñado dentro de los límites siguientes:

Velocidad horizontal,  $V_H$ , máxima = 0.91 m/min ó

15  $V_t$ , u otra mas pequeña

Profundidad = 0.91 m mínimo a 2.43 m máximo.

Relación profundidad-ancho,  $\frac{d}{B}$  = 0.3 mínimo a 0.5 máximo

Ancho, B = 1.82 m mínimo a 6.09 m máximo

g) Detalles de Diseño

Contenido de Aceite en el Agua de Desecho, - Para calcular las dimensiones del canal en el separador, es necesario conocer o estimar las cantidades y propiedades físicas del agua de dese-

cho y las propiedades físicas del aceite en el agua de desecho.

Cálculo del Flujo del Agua de Desecho. - Normalmente el agua de desecho viene del agua de refinería. La velocidad máxima del flujo estará establecida por la medida en un período de tiempo suficiente para dar una idea, la cual incluirá todas las condiciones, o sería calculada tan cerca como fuea posible.

En muchas refinerías, en el agua de desecho también se incluye la superficie del drenaje que se tiene en la refinería. En tales casos, se ha reconocido que los separadores diseñados para procesar el agua, solamente estarán sobrecargados durante períodos de lluvias copiosas, a menos que sean acondicionados para que no se rebosen. Tales sobrecargas, por supuesto, causarían algunos decrementos en la eliminación del aceite. Si la refinería esta localizada en una región en donde una velocidad alta de eliminación del aceite debe ser mantenida durante períodos de tormenta, entonces el flujo total máximo incluiría un valor para la tormenta. La cantidad a incluir depende de la localización de la refinería y es proporcional al:

1. Area del drenaje
2. Impermeabilidad de la superficie drenada



### 3. Intensidad de la lluvia

El inciso (3) estaría basado en las máximas condiciones de tormenta para la cual separador está diseñado. Los datos de frecuencia e intensidad de la tormenta pueden ser obtenidos mediante dependencias de gobierno (S.R.H.).

Propiedades Físicas del Agua de Desecho.- Las características del agua de desecho pueden ser resumidas de la manera siguiente:

1. Presencia o ausencia de emulsiones
2. Temperatura del agua de desecho al entrar al separador
3. Gravedad específica del agua de desecho
4. Viscosidad del agua de desecho
5. Cantidad de sólidos sedimentados los cuales se acumulan después de 30 min.

Cada esfuerzo debe ser hecho para excluir las emulsiones hacia el sistema de drenaje. La experiencia muestra que un separador depende de la diferencial de la gravedad y que su eficiencia no eliminará las emulsiones, y que la presencia de emulsiones en el separador frecuentemente retarda la recuperación del aceite, de otra manera separaría rápidamente.

El tipo de emulsión en la que el aceite está en la fase dispersada y el agua en la fase continua, puede tardar meses sin separarse. Un ejemplo es el "agua lechosa" o "agua blanca", -- frecuentemente origina en la carga lubricante una planta de tratamiento con ácido. Este tipo de emulsión se pasará a través de un separador que contiene agua, en donde eventualmente se romperá porque se incrementa la tensión superficial causada por la dilución alta. Además la presencia de tal emulsión en un separador puede inhibir la separación normal del aceite en el agua de desecho. Las emulsiones de este tipo pueden ser identificadas por el derrame de 25 ml de muestra en un cilindro conteniendo aproximadamente 75 ml de agua limpia. Si se agita levemente -- origina un color y turbidez en la emulsión al ser impartida a la masa líquida.

El término emulsión, en refinería, frecuentemente es aplicado a las aglomeraciones del aceite y del agua transportadas -- por la corriente del agua de desecho. Estas aglomeraciones son de cambio de forma, y a veces puede parecer que entran al flujo de desecho. Si la prueba de mezclado con el agua limpia es aplicada, se observará que, aunque parecen mezclarse con ésta, -- siempre están separadas por una línea clara de demarcación y

cuando se separarán, generalmente flotan. Tales aglomeraciones, son masas unidas libres en la que el agua es generalmente la -- fase dispersa y el aceite la fase continua. Cada aglomeración es rodeada por una película. Si esta película es rota, el aceite se librerá y se elevará a la superficie del agua.

La temperatura del influente es importante, ya que influye en la viscosidad del agua de desecho y la velocidad de ascenso en las partículas de aceite. Así, un glóbulo en el agua con  $4.4^{\circ}\text{C}$  se elevará solamente a la mitad de la velocidad del mismo glóbulo en el agua con una temperatura de  $32.2^{\circ}\text{C}$  Las temperaturas serán medidas a intervalos suficientes y también bajo condiciones anormales de flujo, como base para el cálculo de la temperatura del flujo máximo. Si un separador es diseñado para un flujo máximo de aceite cuando hace calor, entonces una disminución en la velocidad de eliminación debe esperarse si el flujo máximo ocurre cuando hace frío.

h) Propiedades Físicas del Aceite en las Agua de Desecho.

La gravedad específica del aceite en el agua de desecho debe rá de ser estimada o determinada. Las muestras representativas del flujo de desecho deberán tomarse tan cerca como sea posible

al separador. Las aglomeraciones se romperán al quedar en libertad del aceite que los transporta y la muestra total sedimentada por una hora. El aceite recolectado en el agua deberá de ser colectado y centrifugado y entonces la gravedad específica se determinará. Cuando se tienen datos suficientes se establece un rango de viscosidades específicas esperadas (No API) el límite superado del rango se tomará como base para el diseño del separador. La variación de la densidad del aceite con la temperatura se muestra en el Apéndice I.

## IV.2 Cálculo del Equipo Piloto.

### IV.2.1 Bases de Diseño

#### a) Dimensiones

Para determinar las bases de diseño del equipo piloto que se utilizó para experimentar la separación de aceite-agua por gravedad, se tomó como referencia el diseño del separador API No.2 (Plano 00512-E-39) de la Refinería de Salamanca y la tecnología sobre diseño de separadores API tipo convencional, como se describió anteriormente.

De las dimensiones del canal de separación del sepa

rador mencionado, se determinaron las nuevas dimensiones del equipo piloto, correspondiendo éstas por -- conveniencia práctica al 20% de las del equipo industrial, como se indica a continuación:

<u>Dimensiones del Separador</u> <u>API industrial (m).</u>		<u>Dimensiones del Equi</u> <u>po piloto (m.)</u>
Longitud (L)	12.50	2.50
Ancho (B)	3.05	0.61
<u>Profundi</u> dad (d)	1.65	0.33

b) Características físicas del agua de desecho.

Los cálculos subsecuentes se basaron en los datos - promedio de las características físicas del agua de desecho de los trabajos realizados en Salamanca y Minatitlán (PY-06-110.1 y PY-06.105, respectivamente). Dichas características se mencionan a continuación:

Temperatura del influente, T	=	34°C
Peso específico del agua, Sw	=	0.994
Viscosidad absoluta del agua,	=	0.007371 poises
Peso específico del aceite, So	=	0.86 - 0.92

Diámetro de los glóbulos de  
aceite, D = 0.15 cm

c) Velocidad de ascenso de la partícula  
de aceite, (V<sub>r</sub>).

De la ecuación (10); V<sub>r</sub> = 0.12 cm/seg

d) Velocidad horizontal, (V<sub>H</sub>)

A partir del Número de Reynolds, se calculó la velocidad horizontal teniendo como base que para separar aceites con un peso específico de 0.86 a 0.92, se necesita un flujo laminar, siendo permisible flujos turbulentos para la separación de aceites mas ligeros.

$$Re = \frac{R_H V_H S_w}{\mu} \quad V_H = \frac{Re \mu}{R_H S_w}$$

Re = 250 (Reynolds supuesto)

R<sub>H</sub> = radio hidráulico

$$R_H = \frac{Ac}{P}$$

Ac = sección transversal del equipo piloto =  
61 x 33 = 2013 cm<sup>2</sup>

p = perímetro mojado = 33 + 61 + 33 =  
127 cm

$$R_H = 15.8 \text{ cm}$$

$$V_H = 0.117 \text{ cm/seg} = 6.96 \text{ cm/min}$$

e) Gasto mínimo de operación en el equipo piloto, (Q)

$$Q = A_c \times V_H = 2013 \text{ cm}^2 \times 0.117 \text{ cm/seg} = 235.5 \text{ cm}^3/\text{seg} = 14.2 \text{ l/min}$$

f) Tiempo de retención, ( $\Theta_r$ )

$$\Theta_r = \frac{L}{V_H} = \frac{250 \text{ cm}}{6.96 \text{ cm/min}} = 36 \text{ min}$$

$$\Theta_r = 36 \text{ min.}$$

Este tiempo de retención es comparativamente igual que el calculado para el separador API de referencia.

g) Volumen del separador, (V)

$$\begin{aligned} V &= Q \times \Theta_r \\ &= 14.2 \text{ l/min} \times 36 \text{ min} = 511 \text{ l.} \end{aligned}$$

h) Comprobación del volumen del separador

$$\begin{aligned} V &= L \times B \times d \\ &= 250 \text{ cm} \times 61 \text{ cm} \times 33 \text{ cm} = 500.0 \text{ l} \end{aligned}$$

- i) Gasto máximo de operación en el equipo piloto ( $Q_m$ )

Suponiendo que  $V_H = 0.64$  cm/seg

$$\frac{V_H}{V_r} = \frac{0.64}{0.12} = 5.4$$

Interpolando este valor en la Tabla 2 del API\*, se encuentra que el factor de diseño es:

$$F_D = 1.4$$

Comprobación

$$L = F_D \frac{(V_H) d}{V_r}$$

$$V_H = \frac{L \times V_r}{F_D \times d} = \frac{250 \times 0.12}{1.4 \times 33} = 0.64 \text{ cm/seg}$$

La suposición es correcta

$$Q = A_c \times V_H = 2013 \text{ cm}^2 \times 0.64 \text{ cm/seg} = 1288.32 \text{ cm}^3/\text{seg} = 1.3 \text{ l/seg} - 78 \text{ lt/min}$$

(\*) Manual on Disposal of Refinery Wastes, Vol. I, Pág. 20



Tiempo de retención ( $\Theta_r$ )

$$\Theta_r = L/V_H = \frac{250 \text{ cm}}{0.64 \text{ cm/seg}} = 390 \text{ seg} = 6.5 \text{ min}$$

$$\Theta_r = 6.5 \text{ min}$$

Esto quiere decir, que si se alimenta mayor flujo del máximo permisible, las partículas de aceite llegarán a recorrer lo largo del separador sin tener tiempo de separarse.

Como los separadores actuales operan normalmente entre 40 y 70% de su capacidad de diseño, y en ocasiones arriba de ésta, la experimentación en el equipo piloto opera entre 14 y 78 l/min cubrirá la gama de operación actual de dichos separadores.

#### IV.2.2 Arreglo de las Placas Paralelas

El separador fue empacado con placas paralelas, que para facilidad de operación, se formaron 4 grupos llamados canastas.

El arreglo inicial fue el siguiente:

Angulo de inclinación de placas.	=	45°
Distancia mínima entre placas.	=	2.0 cm
Espesor de placa	=	0.5 cm
Ancho de una canasta	=	27 cm
Altura de la canasta	=	30 cm
Diagonal de la canasta	=	40.4 cm
Distancia entre centro y centro de las placas	=	2.5 cm
No. de placas de una canasta $\frac{40.4}{2.5}$	=	16
No. placas totales en el separador	=	32

En conclusión, el arreglo de las placas y dimensiones del separador, se muestran en las Figuras 5 y 6.

#### IV.2.3 Parte Experimental

Variables de Operación:

1. Velocidad de flujo
2. Concentración de aceite

3. Longitud de placas
4. Separación entre placas
5. Densidad del aceite
6. Inclinação de placas
7. Temperatura del agua

Velocidad de Flujo. - Se probaron 3 velocidades de flujo calculadas previamente para las dimensiones del equipo piloto: 15, 40 y 70 l/min.

Concentración de Aceites. - Se consideró arbitrariamente la concentración de aceite en el influente de 500; 1500, 3000 y 10000 mg/l.

Longitud de Placas. - El efecto de la longitud de placas se experimentó en las siguientes formas: - Separador totalmente empacado con placas de 216 cm y empacado la primera o segunda mitad con placas de 108 cm.

Separación entre Placas. - Se probó el efecto de la separación entre placas con 2, 4, 6 y 10 cm. Asimismo, se operó el equipo sin placas.

Densidad del Aceite. - Se utilizó aceite recuperado de trampas de la Refinería de Atzacapotzalco con un

peso específico de 0.8314 y una viscosidad de 34.8 seg Saybolt Universal.

Inclinación de Placas. - Se utilizó una inclinación constante de 45° .

Temperatura del Agua. - En la preparación de la muestra aceitosa se utilizó una derivación de las líneas generales de servicio de agua a temperatura ambiente.

Procedimiento.

La preparación de la muestra se realizó de una manera continua en un tanque de 200 litros de capacidad provisto de agitación mecánica y chaqueta de calentamiento (Fig. 7).

Se utilizó agua de la llave y aceite recuperado de trampas de la Refinería de Atzacpotzalco.

El flujo de agua aceitosa se hizo pasar por el compartimento A, (Fig. 8) del separador a la velocidad indicada. Parte del aceite se retiene en este compartimento y el agua acetosa rebosa por la mampara de distribución B, para hacer el recorrido por

el canal de operación C, donde precisamente se separa el aceite del agua.

El aceite que se separa en las placas y asciende a la superficie, por acción de la velocidad horizontal se acumula en la mampara de retención de aceite, donde se drena por medio del tubo de espumadera D. El agua desaceitada rebosa por el vertedor de salida E.

En todos los casos la duración de cada prueba fue de 60 minutos, siendo la variable de control el contenido de aceite que se analizó (ASTM-D-1178-60) a la entrada y salida del separador.

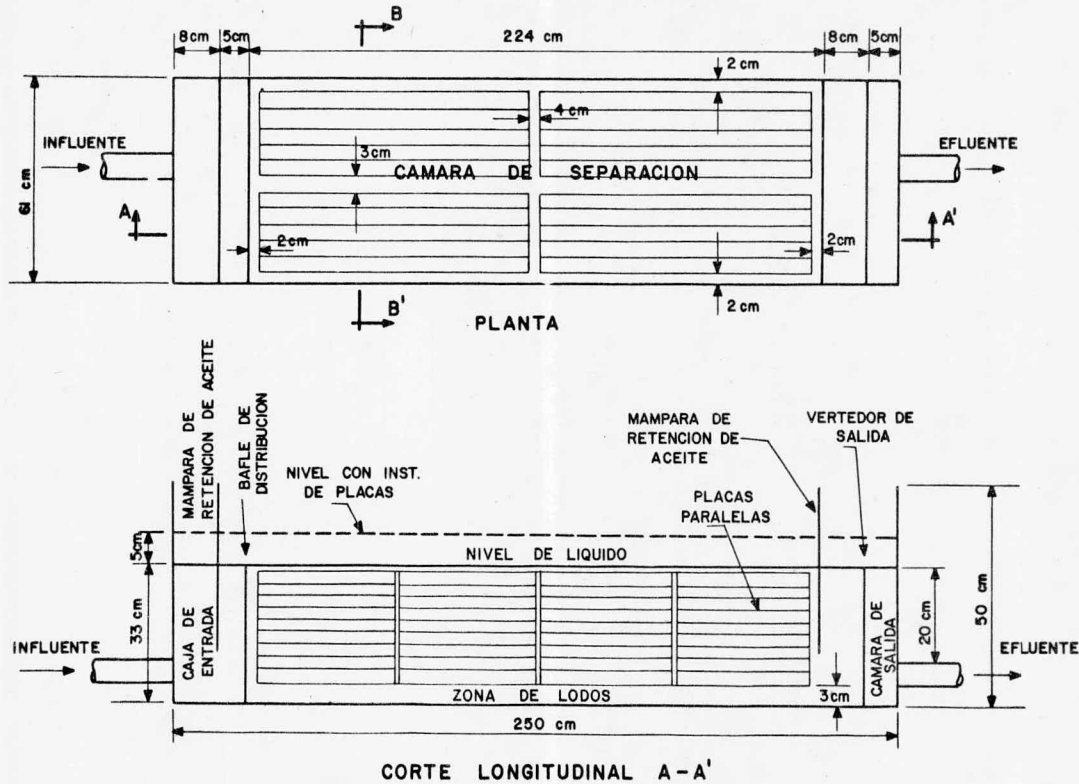
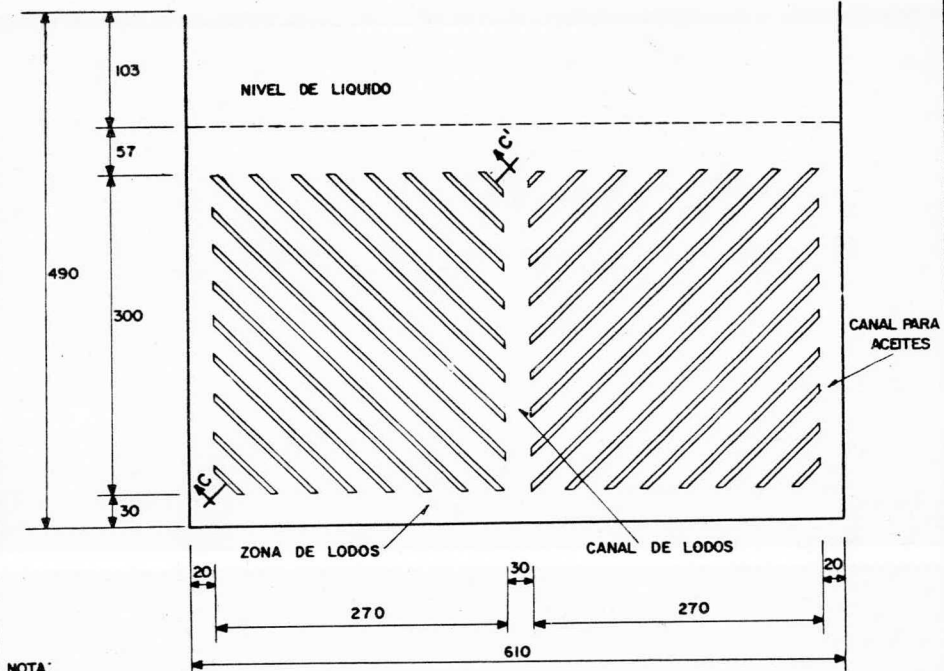


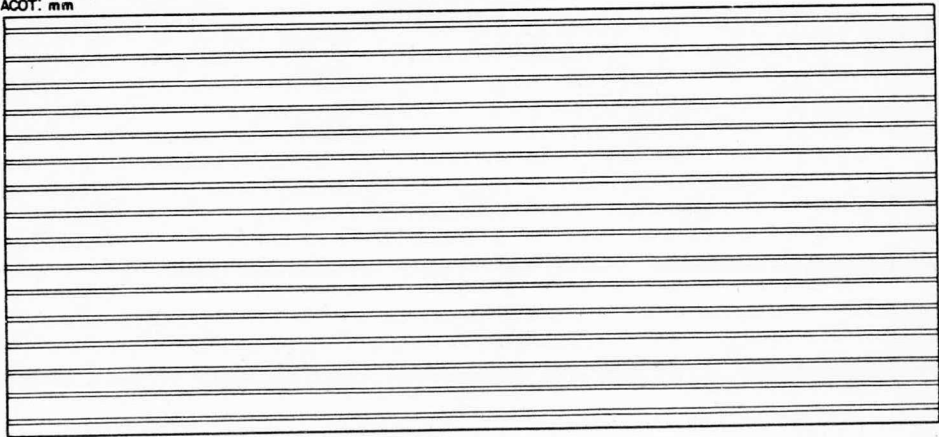
FIG.5 ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL SEPARADOR PILOTO, PLANTA  
Y SECCION LONGITUDINAL

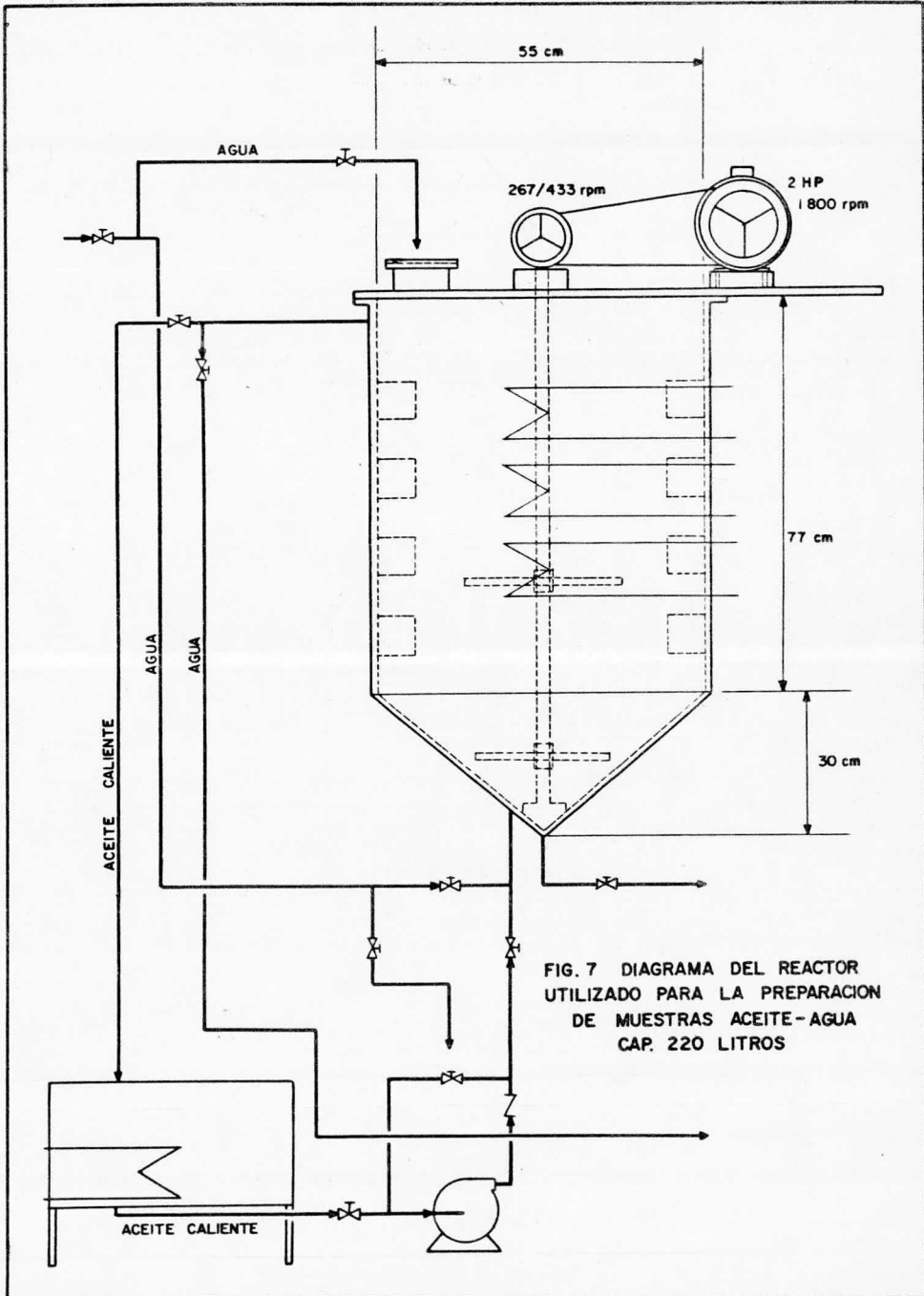
FIG. 6 DISTRIBUCION DE PLACAS EN  
EL EQUIPO PILOTO



NOTA:

SEPARACION ENTRE PLACAS 20 mm.  
ESPESOR DE PLACAS 5 mm  
ACOT: mm







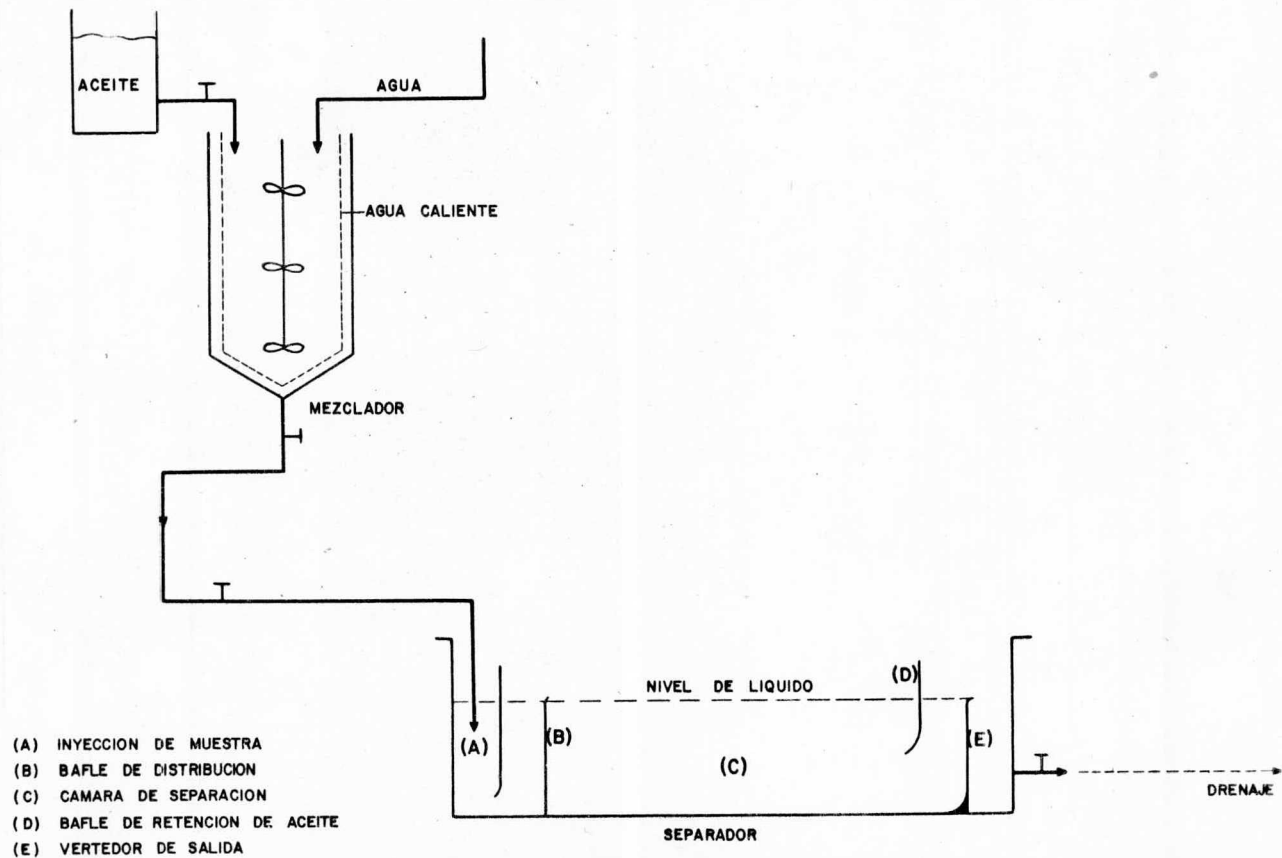


FIG. 8 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA UTILIZADO PARA LA SEPARACION ACEITE-AGUA POR GRAVEDAD.

## CAPITULO V

## R E S U L T A D O S

## V.1 Resultados Obtenidos

La información obtenida de 50 pruebas experimentales se encuentra integrada en la Tabla 1; asimismo, los datos de esta tabla se transportaron gráficamente en las Figuras 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15.

TABLA 1. INTEGRACION DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS  
DE SEPARACION ACEITE-AGUA EN EQUIPO PILOTO

Prueba No.	No. de canastas	Separación entre placas, cm	No. de placas	Flujo de agua l/min	Aceite, mg/l		Aceite removido %
					Influyente	Efluyente	
1	-	-	-	15	500	40	92.0
2	-	-	-	40	500	150	70.0
3	-	-	-	70	500	190	62.0
4	4	2	30	15	500	15	97.0
5	4	2	30	40	500	35	93.0
6	4	2	30	70	500	70	86.0
7	-	-	-	15	1500	70	95.2
8	-	-	-	40	1500	400	73.3
9	-	-	-	70	1500	510	65.3
10	4	2	30	15	1500	27	98.0
11	4	2	30	40	1500	80	94.5
12	4	2	30	70	1500	120	92.0
13	-	-	-	11	3000	100	96.6
14	-	-	-	40	3000	470	85.3
15	-	-	-	70	3000	600	80.0
16	4	2	30	15	3000	60	98.0
17	4	2	30	40	3000	110	96.3
18	4	2	30	70	3000	140	95.2
19	4	4	16	13	1500	25	98.4
20	4	4	16	40	1500	95	93.3
21	4	4	16	70	1500	165	89.0
22	4	6	10	15	1500	35	97.5
23	4	6	10	40	1500	125	91.7
24	4	6	10	70	1500	200	86.7
25	2P	2	30	15	1500	20	98.7
26	2P	2	30	40	1500	150	90.0
27	2P	2	30	70	1500	200	86.7
28	2P	4	16	15	1500	60	96.0
29	2P	4	16	40	1500	200	86.7
30	2P	4	16	70	1500	300	80.0
31	2P	6	10	15	1500	75	95.0
32	2P	6	10	40	1500	250	83.3
33	2P	6	10	70	1500	365	75.7
34	2F	2	30	15	1500	40	97.3

TABLA 1. (Continuación)

Prueba No.	No. de canastas	Separación entre placas, cm	No. de placas	Flujo de agua l/min	Aceite, mg/l		Aceite removido %
					Influyente	Efluente	
35	2F	2	30	40	1500	200	86.7
36	2F	2	30	70	1500	260	82.7
37	2F	4	16	15	1500	67	95.5
38	2F	4	16	40	1500	250	83.3
39	2F	4	16	70	1500	356	76.3
40	2F	6	10	15	1500	100	93.2
41	2F	6	10	40	1500	300	80.0
42	2F	6	10	70	1500	400	73.3
43	4	10	4	15	1500	52	96.7
44	4	10	4	40	1500	210	86.0
45	4	10	4	70	1500	282	81.3
46	4	4	16	38	500	88	82.5
46	4	6	10	38	500	53	89.5
47	4	4	16	38	500	50	90.0
48	-	-	-	38	10000	700	93.0
49	4	2	30	38	10000	550	94.5
50	4	10	4	38	10000	300	97.0

Nota: 2P = 2 canastas colocadas al principio del separador

2F = 2 canastas colocadas al final

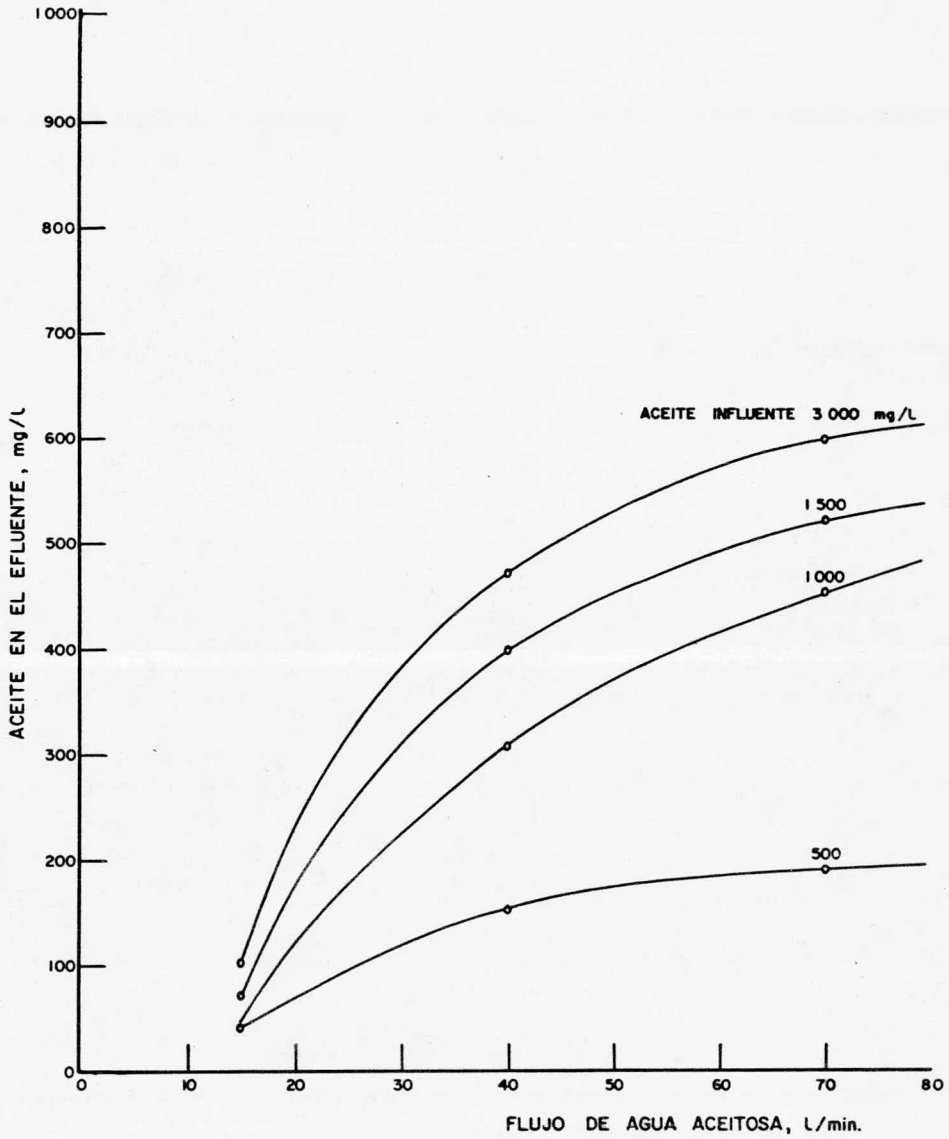


FIG. 9 SEPARACION DE ACEITE CUANDO SE OPERA EL EQUIPO SIN COLOCACION DE PLACAS

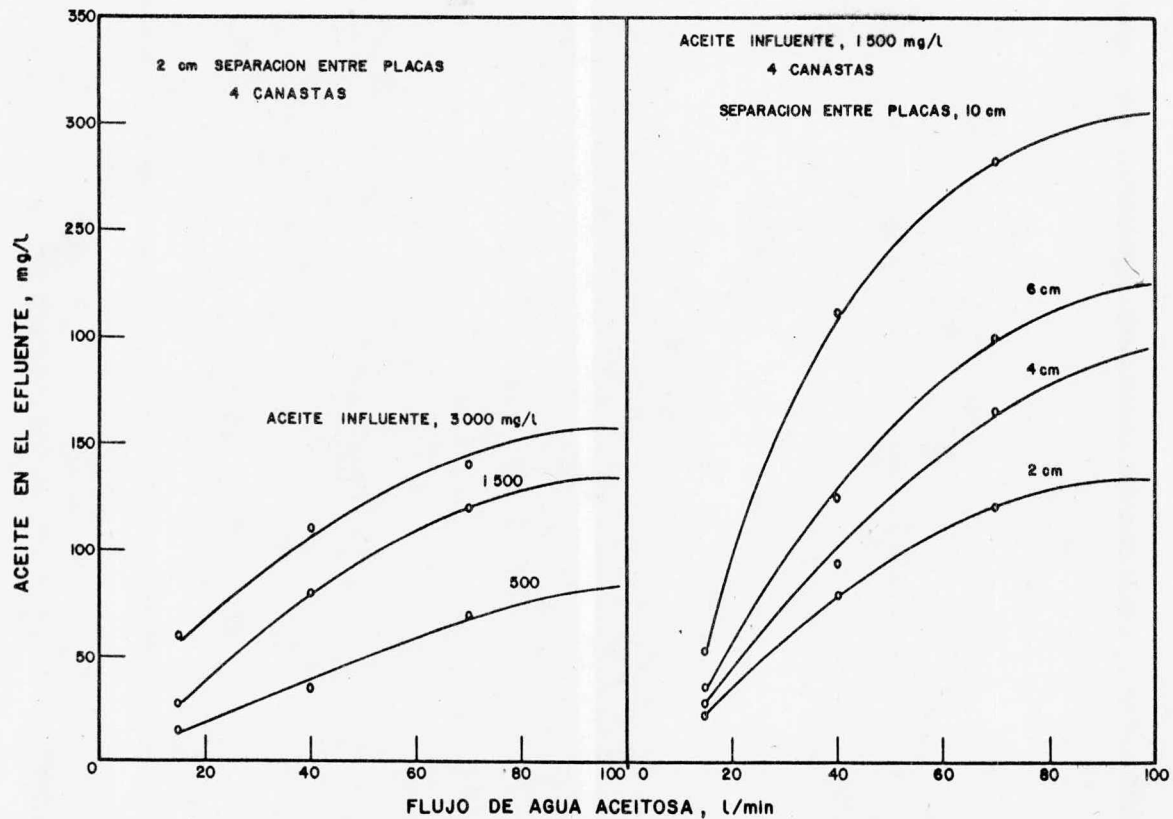


FIG. 10 SEPARACION DE ACEITE POR EFECTO DE LA DISTANCIA ENTRE PLACAS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ACEITE POR EFECTO DE LA DISTANCIA ENTRE PLACAS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ACEITE EN EL INFLUENTE PARA UN FLUJO DE AGUA DADO.

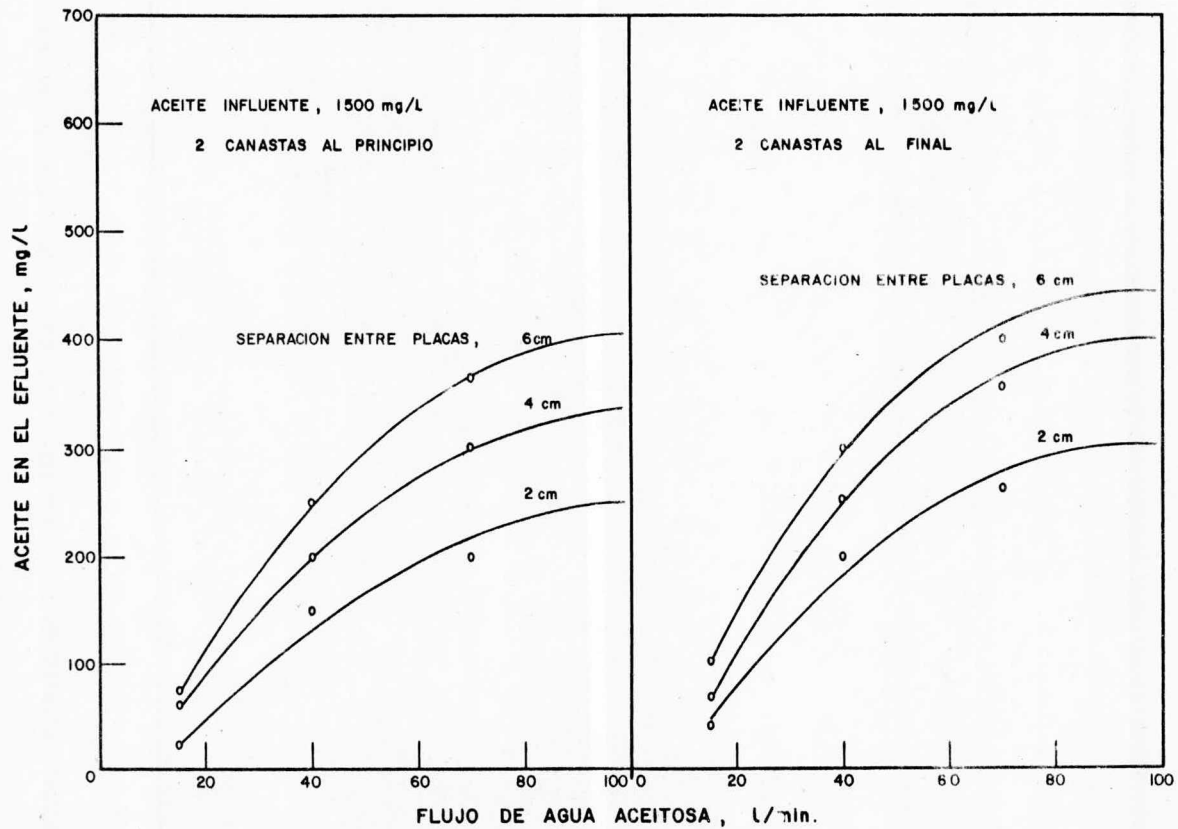


FIG. II EFECTO DE LA COLOCACION DE PLACAS AL PRINCIPIO Y AL FINAL DEL SEPARADOR PILOTO

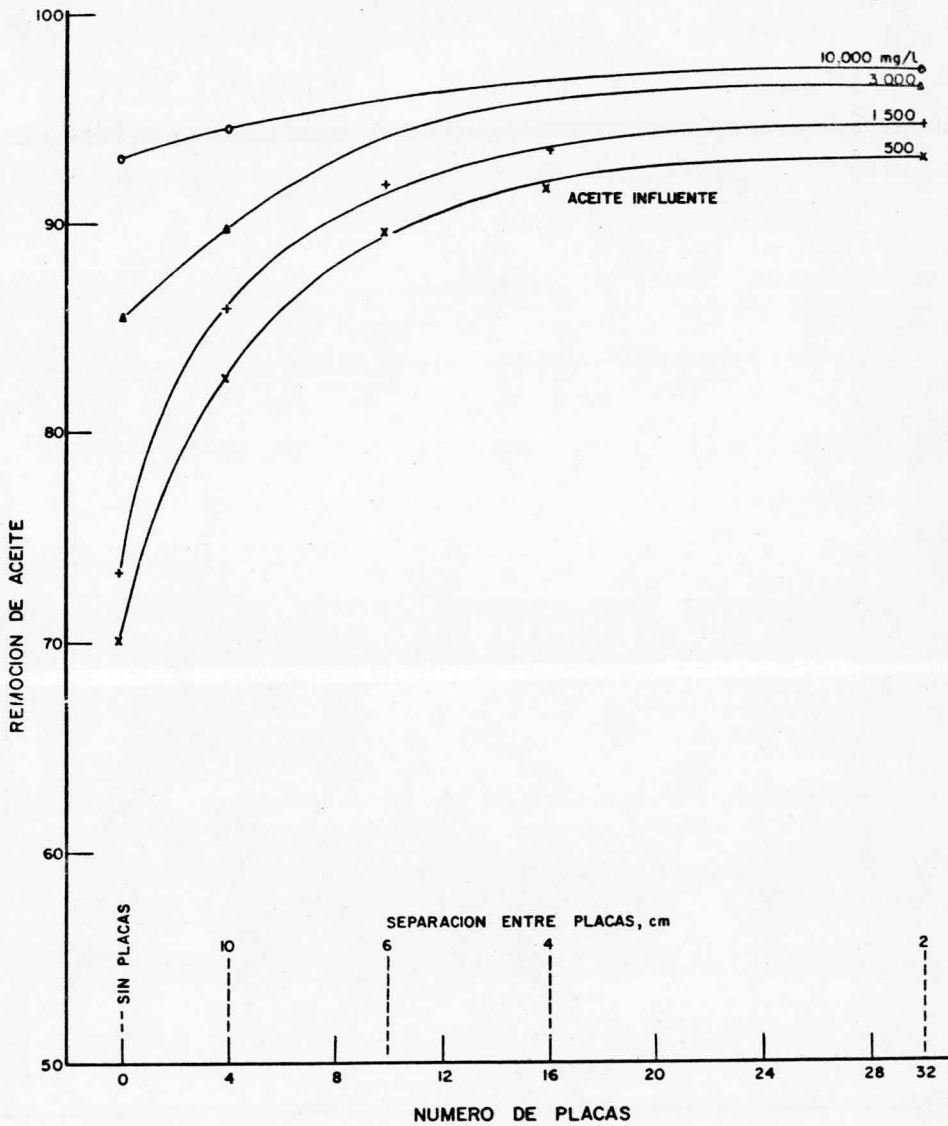
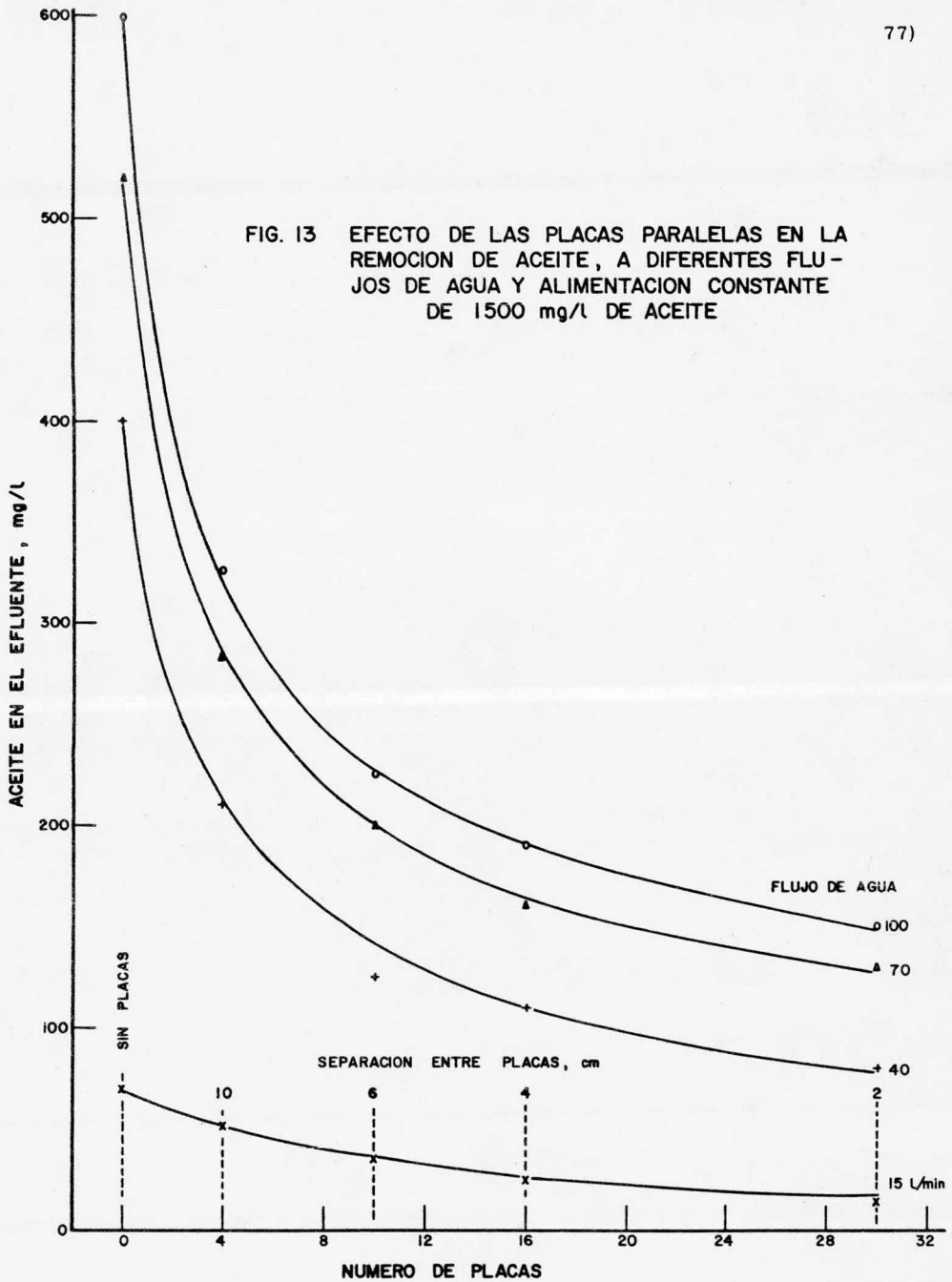


FIG. 12 EFICIENCIAS DE REMOCION DE ACEITE A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ACEITE EN EL INFLUENTE Y UN FLUJO CONSTANTE DE 40 l/min.



FIG. 13 EFECTO DE LAS PLACAS PARALELAS EN LA REMOCION DE ACEITE, A DIFERENTES FLUJOS DE AGUA Y ALIMENTACION CONSTANTE DE 1500 mg/L DE ACEITE



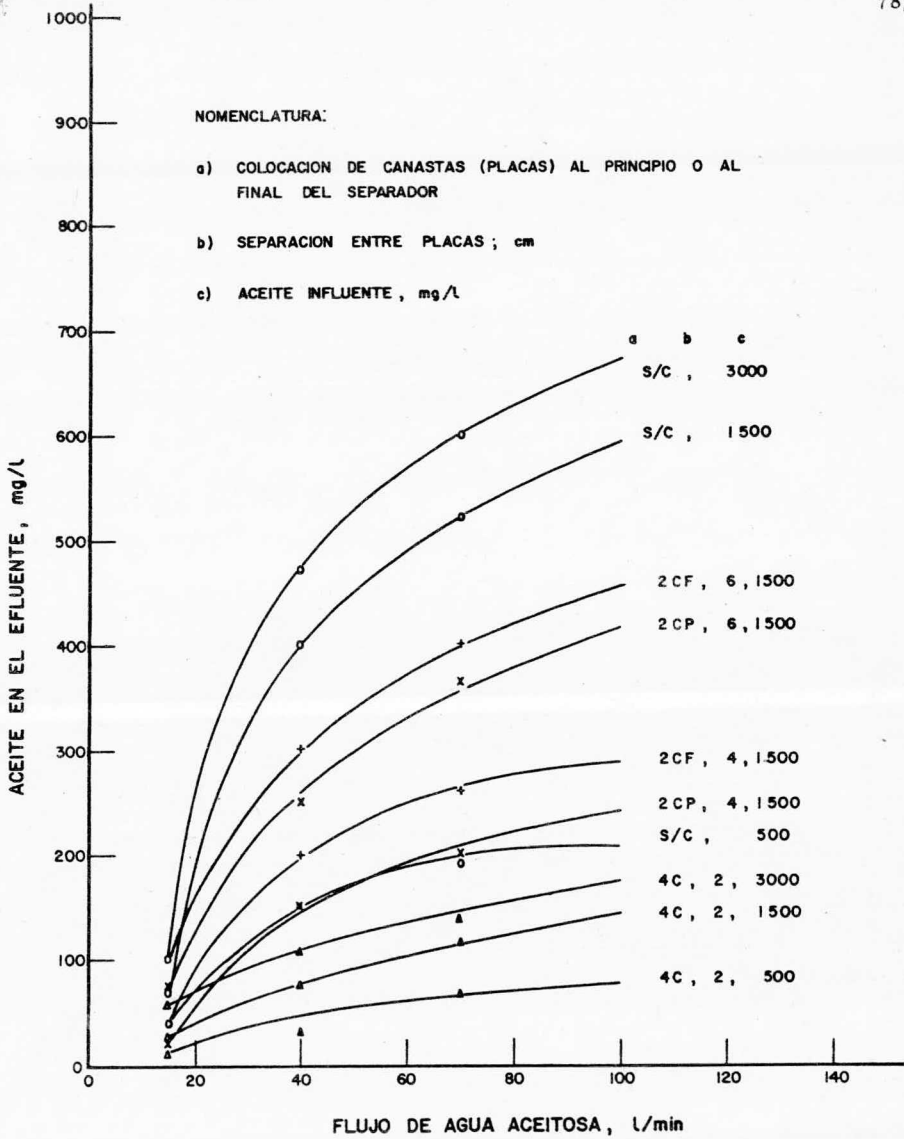


FIG. 14 INTEGRACION GRAFICA DE DATOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS DE SEPARACION DE ACEITE-AGUA EN EQUIPO PILOTO

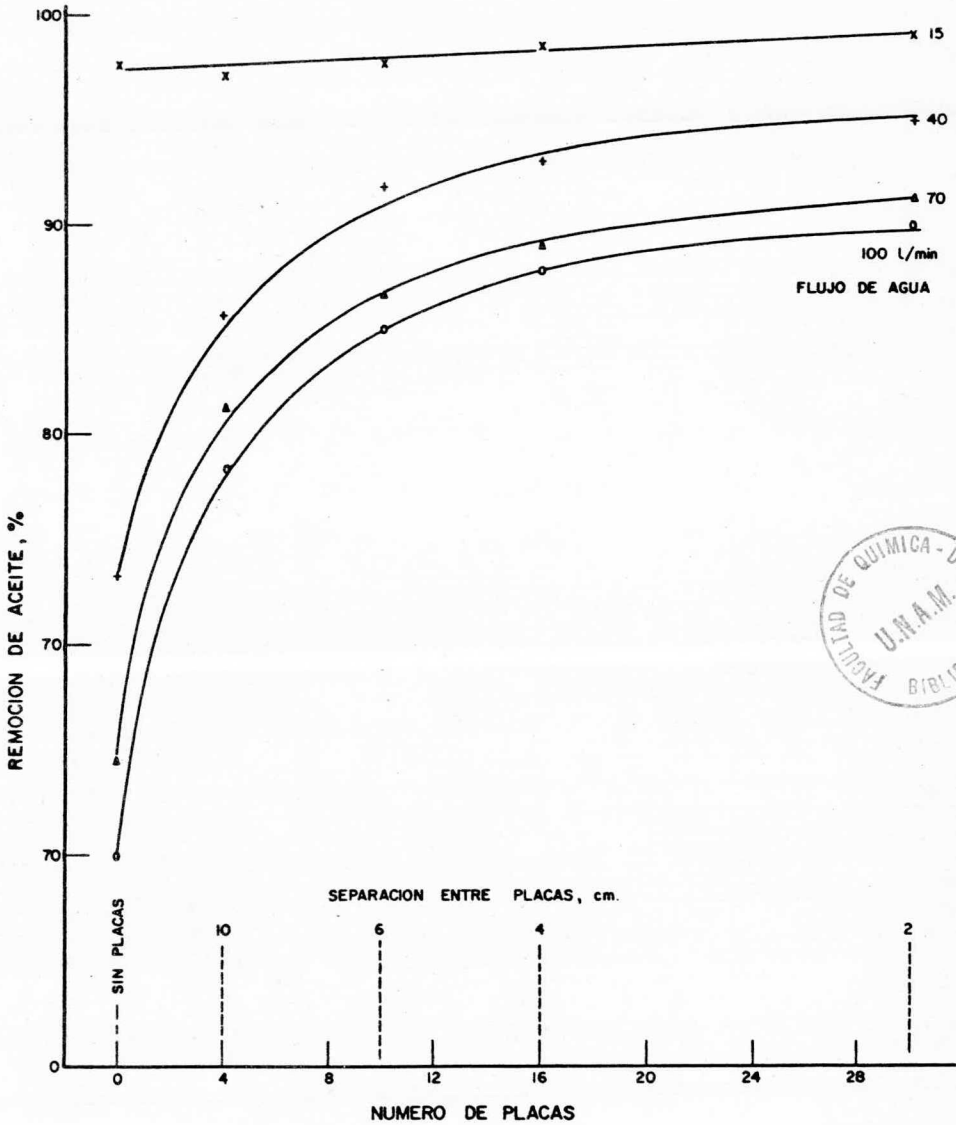


FIG. 15 EFICIENCIAS DE REMOCION DE ACEITE, A DIFERENTES FLUJOS DE AGUA Y UN INFLUENTE CONSTANTE DE 1500 mg/L DE ACEITE



## V.2 Evaluación de Resultados

- a) Para una misma concentración de aceite en el influente y cierto flujo de agua, en todos los casos en que se trabajó con placas la concentración de aceite en el efluente fue inferior que cuando se operó sin ellas.
- b) La operación del equipo con placas al principio o al final del separador, produjo efluentes de mayor concentración en aceite a diferencia de cuando se colocaron en ambos extremos. Sin embargo, la instalación de placas al principio proporciona mejores resultados que al final del separador.
- c) Las eficiencias de separación disminuyen en los siguientes casos: a mayores velocidades de flujo, conforme aumenta la concentración de aceite en el influente y a mayor distancia de separación entre placa y placa.
- d) El número de placas y la separación entre ellas bajo los cuales se opero, presentan una influencia muy grande en la separación de aceite; sin embargo, se pudo observar que con 30 placas y 2 cm de separación produjo resultados muy similares a los obtenidos cuando se utilizaron 10 placas con 6 cm de separación.

- e) La extrapolación a escala industrial de los resultados obtenidos puede llevarse a cabo conociendo las dimensiones del separador, el gasto máximo de operación, la concentración de aceite en el influente, así como el aceite máximo deseado en el efluente.
  
- f) Para ciertas condiciones de operación y con la instalación de placas paralelas, se pueden obtener para un equipo industrial hasta 25 mg/l de aceite en el efluente.

## CAPITULO VI

## CONCLUSIONES

- a) El número de placas y la separación de las mismas presentan una influencia muy grande en la separación del aceite.
- b) Bajo las mismas condiciones de operación, en todos los casos en que se operó con placas, la eficiencia de separación de aceite fue superior que cuando se operó sin ellas.
- c) La operación del equipo empacado totalmente con placas, produjo mejores resultados que cuando se empacó la primera o segunda mitad; sin embargo, la instalación de placas al principio proporciona mejores resultados que al final del separador.
- d) Las eficiencias de separación disminuyen en los siguientes casos: a mayores velocidades de flujo, conforme aumenta la concentración de aceite en el influente y a mayor distancia de separación entre placa y placa.
- e) La extrapolación a escala industrial de los resultados obtenidos puede llevarse a cabo conociendo las dimensiones del separador, el gasto máximo de operación, la concentración de aceite en el influente, así como el aceite máximo deseado en el efluente.

- f) Para ciertas condiciones de operación y con instalación de placas paralelas, se puede obtener para un equipo industrial hasta 25 mg/l de aceite en el efluente.

## CAPITULO VII

## BIBLIOGRAFIA

- 1) American Petroleum Institute, Manual on Disposal of Refinery Wastes, Vol. I "Waste Water Containing Oil". Seventh - - Edition, New York, N.Y. (1963).
- 2) American Petroleum Institute "The Behavior of Oil Water Mixtures in Separators" August (1951).
- 3) Beychock, M.R. "Aqueous Wastes from Petroleum and Petrochemicals Plants", Wiley, Londres (1967).
- 4) Boletín 930 "Corrugate Plate Reinforced Plastic Interceptors", Heil Process Equipment Corporation, (1971).
- 5) Boletín 931 "Corrugate Plate Separator", Heil Process Equipment Corporation (1971).
- 6) Ewing, R.C., "Shell Refinery Uses Pollution Abatement Units". The Oil and Gas Journal, Marzo 8, (1971).
- 7) Gulf Publishing Company, Waste Treatment and Flare Stack Design Handbook, Reprinted from Hydrocarbon Processing, No. 2 (1968).
- 8) Hart, W.B. "Designing Primary Section and Accessories of an Effective Oil-Water Separation", Refinery Waste Disposal, Petroleum Processing, June, (1947).
- 9) Hart, W.B. "Secondary Section of oil-water separator effects final clean-up of Refinery Waste", Refinery Waste Disposal, Petroleum, Processing, July (1947).
- 10) Hart, W.B. "Modifications of Oil-Water Separators to Meet Specialized Applications", Refinery Waste Disposal, Petroleum Processing, Agust (1947).



- 11) Miller, C. F. "Operation of Oil-Water Separator at Trenton Plant", Petroleum Refiner, Vol. 29, No. 5.
- 12) Morrison, J. "Shell Refinery Uses Pollution Abatement Units", The Oil and Gas Journal, Marzo 8, (1971).
- 13) \_\_\_\_\_ "Oil, Sludge Cut to 30 ppm in Bulk Station Effluent", Chemical Processing, Sept. (1971).