



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO COMPUTARIZADO DE SISTEMAS DE PRODUCCION DE ACEITE - GAS - AGUA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO PETROLERO PRESENTAN LUIS REY CARDENAS MANRIQUEZ EDUARDO ENRIQUE DIAZ RAMOS



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 está 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA

Dirección
60-I-48

Señores CARDENAS MANRIQUEZ LUIS REY Y
DIAZ RAMOS EDUARDO ENRIQUE.
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Profr. M.I.- José Angel Gómez Cabrera, para que lo desarrollen como tesis - - para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO PETROLERO.

"DISEÑO COMPUTARIZADO DE SISTEMAS DE PRODUCCION DE ACEITE
GAS Y AGUA"

- INTRODUCCION.
- I SEPARADORES BIFASICOS.
- II SEPARADORES TRIFASICOS.
- III TRATADORES DE CALOR.
- IV TRATADORES DE AGUA RESIDUAL.
- V PROGRAMA DE COMPUTO.
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.
- BIBLIOGRAFIA.
- APENDICE.

Ruego a ustedes se sirvan tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberán prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como - - - requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así -- como de la disposición de la Coordinación de la Administración -- Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los - ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D.F., Febrero 10 de 1986.

EL DIRECTOR

Dr. Octavio A. Rascón Chávez

Sm.
OARCH' MRV'!gtg

INDICE

	Página
INTRODUCCION	xi
CAPITULOS	
I. Separadores bifásicos	1
I.1. Descripción del equipo	3
I.2. Separadores horizontales	4
I.3. Separadores verticales	7
I.4. Otros tipos de separadores bifásicos	7
I.5. Ventajas y desventajas de separadores horizontales y verticales ..	13
I.6. Partes internas del separador ..	16
I.7. Principios básicos de separación	23
I.8. Dimensionamiento de los separadores	26
I.9. Procedimiento para dimensionar separadores bifásicos	30
II. Separadores trifásicos	35
II.1. Descripción del funcionamiento del equipo	37
II.1.1. Separadores horizontales ...	37
II.1.2. Separadores verticales	42
II.2. Partes internas del separador ..	46
II.3. Problemas operativos	48
II.4. Principios básicos de separación	52
II.5. Dimensionamiento de los separadores	55
II.5.1. Separadores horizontales ...	55
II.5.2. Separadores verticales	58
II.6. Procedimiento para dimensionar separadores trifásicos	60

III.	Tratadores de calor	64
III.1.	Tipo de tratadores	67
III.1.1.	Tratadores verticales	67
III.1.2.	Tratadores horizontales	69
III.2.	Principios básicos de separación y diseño	72
III.3.	Procedimiento para dimensionamien- to tratadores de calor	79
IV.	Equipo para tratamiento de aguas re- siduales	81
IV.1.	Generalidades del equipo de trata- miento	81
IV.2.	Principios básicos de separación ...	84
IV.2.1.	Separación por gravedad	85
IV.2.2.	Dispersión	86
IV.2.3.	Coalescencia	88
IV.3.	Equipos de tratamiento	88
IV.3.1.	Tanques ó vasijas para desnatado .	88
IV.3.2.	Ecuaciones para el diseño del equi- po desnatador	94
IV.3.3.	Unidades de placas coalescedoras .	97
IV.3.4.	Dimensionamiento de las unidades - coalescedoras	103
IV.3.5.	Número de paquetes de placas	104
IV.3.6.	Dimensionamiento del equipo de flu- jo cruzado	105
IV.3.7.	Unidades de flotación	106
IV.3.8.	Equipo utilizado en plataformas -- marinas	112
IV.4.	Selección de un sistema para el tra- tamiento de agua residual	119
IV.4.1.	Información requerida para el dise- ño	120
IV.4.2.	Calidad del afluente de agua	123
IV.4.3.	Selección del equipo	125
V.	Programa de cómputo	133
CONCLUSIONES		182
APENDICES		
A)	Teoría sobre sedimentación por grave- dad	186
B)	Ecuaciones para el dimensionamiento - de separadores bifásicos según el pro- yecto D-3415	190

	Página
NOMENCLATURA	193
BIBLIOGRAFIA	201

INTRODUCCION

La producción de los pozos petroleros esta formada por hidrocarburos líquidos (aceite), hidrocarburos gaseosos (gas natural), cantidades variables de agua y sedimentos, -- junto con pequeñas cantidades de azufre, oxígeno y nitrógeno.

Este aceite crudo, antes de ser entregado a la estación de bombeo (para mandarlo a refinería o para venta), es enviado a una batería para efectuar la separación de los hidrocarburos líquidos del gas, así como eliminar la mayor parte del agua y sedimentos producidos, con el fin de que tanto el aceite como el gas se encuentren estabilizados y no presenten problemas como son: corrosión y abrasión en el equipo de transporte, aumento en las caídas de presión y disminución en la capacidad de transporte de las líneas.

Posteriormente, el agua separada del aceite debe someterse a un tratamiento adicional, con el propósito de eliminar la mayor cantidad de aceite residual y así disminuir el impacto de la contaminación al momento de ser descargada al medio ambiente.

Este trabajo tiene como objetivo el dimensionar separadores bifásicos, trifásicos, la sección de coalescencia de un tratador de calor y un sistema para el tratamiento de agua residual generada en esta etapa. El dimensionamiento de cada uno de estos equipos, es mediante un programa de cómputo, el cual ahorra tiempo.

El primer capítulo se dedica a los separadores bifásicos, los cuales son del tipo vertical y horizontal, ambas configuraciones emplean mecanismos similares para la separación gas-líquido, también se describen las partes de un separador, se menciona el funcionamiento de estos en sus diferentes configuraciones y se proporcionan fórmulas para su dimensionamiento, así como el procedimiento paso a paso para la selección de una de estas unidades.

Se incluye un capítulo que trata sobre los separadores trifásicos, los cuales se utilizan para la separación de agua-aceite-gas, ya que es fundamental en cualquier sistema-

de separación; además se describen los métodos de control y el funcionamiento de los diferentes tipos de unidades. También se presenta la teoría básica así como el procedimiento de diseño de este tipo de unidades.

Se dedica un espacio para los tratadores de calor, los cuales son usados para hacer la separación final de agua en el aceite, se describe el funcionamiento de este equipo, se presentan las ecuaciones y se proporciona un procedimiento para su dimensionamiento.

Se presenta un capítulo donde se trata sobre el funcionamiento de las unidades para el tratamiento de las aguas residuales. Teniendo presente en su diseño la Ley Federal -- para la protección del medio ambiente en vigor y así producir un efluente que cumpla con los requisitos y que cause el mínimo efecto de contaminación en el medio ambiente donde se descarga.

En el último capítulo se presenta el programa para hacer un diseño de cada uno de los equipos antes mencionados, así como un ejemplo de su utilización. Se incluye en este un resultado por el diseño de separadores bifásicos mediante -- las ecuaciones que presenta el Ing. Jesús E. Nolasco M., en su estudio de separación de gas-proyecto D-3450^(*).

Dentro de las ecuaciones básicas para el dimensionamiento de los equipos aquí presentados se tiene la Ley de -- Stocks, la cual, se deduce en el apéndice A.

En el apéndice B se presentan las ecuaciones para -- separadores bifásicos del proyecto D-3450.

El presente trabajo se baso en una serie de artícu-- los que aparecieron en la revista World Oil*con el título -- generalizado de "Designing Oil and Gas Production Systems",- por lo que la mayoría de las ecuaciones aquí presentadas para el dimensionamiento del equipo fueron obtenidas con la -- experiencia de campo.

Para el diseño del equipo, se debe tener presente -- que las suposiciones estan basadas en la experiencia de campo; también se tuvo la necesidad de ajustar a ecuaciones algunas curvas que se presentan en forma gráfica, para poder -- hacer uso de un programa de cómputo de manera automática y -- continua.

* Referencias al final.

CAPITULO I

SEPARADORES BIFASICOS

Los fluidos producidos de un pozo petrolero son mezclas complejas de hidrógeno y carbono con diferentes densidades, presiones de vapor y otras características. La corriente del pozo experimenta caídas continuas de presión y temperatura desde que sale del yacimiento hasta la superficie. -- los gases que se desprenden del líquido, el vapor del agua condensado y parte de la corriente del pozo cambia de líquido a burbuja, a niebla y a gas libre. El gas transporta burbujas de líquido y el líquido transporta burbujas de gas. -- Una de las operaciones básicas de producción es la separación física de éstas fases.

Para separar mecánicamente el líquido y el gas que se tiene a una temperatura y presión específica, se cuenta con los separadores de aceite y gas, los cuales son la primera etapa de un equipo de separación, y un mal diseño del se-

parador puede crear "cuellos de botella" y reducir la capacidad de la instalación. (1)*

Para establecer las condiciones de separación más apropiadas de acuerdo con las características de los fluidos producidos, el Ingeniero de Producción debe considerar las siguientes variables de control:

- a) El tipo, el diámetro y los dispositivos internos del separador.
- b) El tiempo de residencia del aceite.
- c) Las etapas de separación.
- d) Las presiones y temperaturas de operación.
- e) El lugar de instalación de los separadores.

Es evidente que existe una combinación de estas variables que permita obtener la separación requerida a un costo mínimo. La selección de las condiciones de separación depende, fundamentalmente de los objetivos de producción establecidos. Generalmente éstos objetivos están orientados a la obtención de: (2)

- a) Una alta eficiencia en la separación del aceite y gas.

* Referencia al final.

- b) Mayores ritmos de producción.
- c) Mayores recuperaciones de hidrocarburos líquidos.
- d) Menores costos por compresión
- e) Aceite y gas estabilizados.

Los separadores se dividen en dos tipos; bifásicos - que son los que separan gas del líquido y trifásicos, que -- separan gas, aceite y agua. En este capítulo se discutirá -- sobre el diseño de los separadores de dos fases exclusivamente.

Los separadores frecuentemente son conocidos con --- otros nombres tales como: "depurador de gas" (cuando la relación gas-aceite es alta), "separador portátil" (rolo, cuando el aceite es recibido directamente de la boca del pozo), --- etc.; pero todos ellos tienen la misma configuración, igual mecanismo de separación y el procedimiento aquí mostrado puede ser utilizado para su dimensionamiento.

I.1 Descripción del equipo

Un separador completo se compone de las siguientes - partes: (3)

- a) Sección de separación primaria, donde se separa la mayor parte de gas del líquido.
- b) Capacidad del líquido suficiente para manejar, en casos necesarios, baches repentinos de líquido provenientes de la línea de descarga.
- c) Altura o longitud suficiente para permitir -- que las pequeñas gotas de líquido se asienten por gravedad.
- d) Dispositivos para reducir la turbulencia y se realice un asentamiento apropiado.
- e) Extractor de niebla para capturar las partículas de líquido arrastradas por la corriente de gas.
- f) Controles apropiados del nivel del líquido y de la presión de operación.

I.2 Separadores horizontales

El fluido entra al separador (Fig. 1) y con la ayuda de una placa desviadora, se produce un cambio de dirección de flujo, induciendo una fuerza centrífuga al flujo y separando grandes volúmenes de líquido. La gravedad causa que -- las gotas del líquido caigan a la sección de almacenamiento del líquido, en donde se proporciona el tiempo de retención necesario para que el gas disuelto se siga liberando del ---

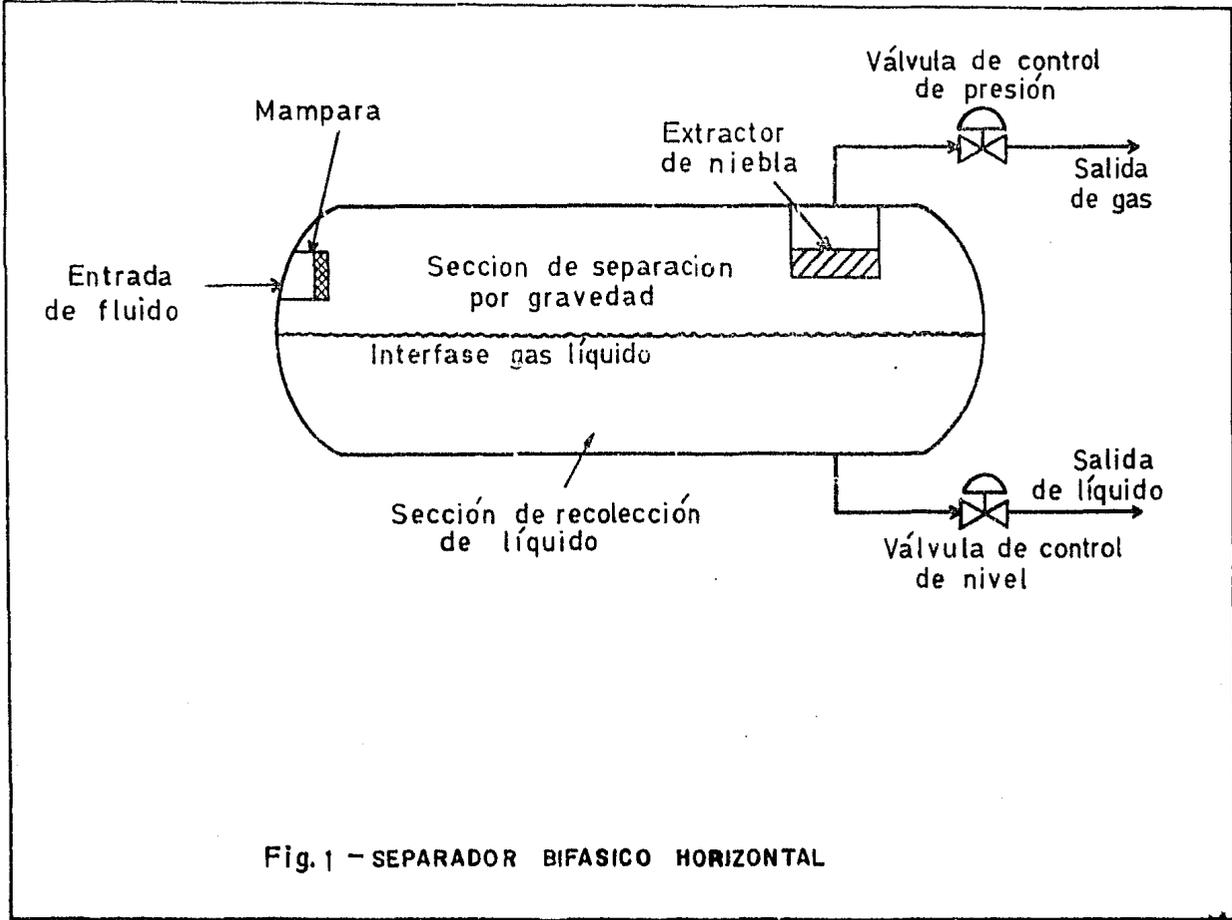


Fig.1 - SEPARADOR BIFASICO HORIZONTAL

aceite y pase a la sección de separación secundaria. También se cuenta con una capacidad suficiente, si es necesaria, para manejar baches intermitentes de líquido.

El líquido sale del separador a través de una válvula de descarga que está regulada por un controlador de nivel, este controlador es sensible a los cambios de nivel del líquido.

El gas liberado de la sección de separación primaria pasa a la sección secundaria, en donde se separa la máxima cantidad de gotas de líquido de la corriente de gas; este gas fluye por un extractor de niebla antes de salir del separador, en donde se retienen las gotas más pequeñas que no se separaron en la sección de separación secundaria. Existen distintos tipos de extractores de niebla, los cuales son: de veletas, de malla de alambre entretrejido y de placas corrugadas.

Para mantener una presión deseada en el interior del separador, se tiene una válvula de control de presión en la salida del gas.

En los separadores horizontales el nivel del líquido normalmente, no es mayor que la mitad de su diámetro, para obtener una mayor eficiencia en su operación y cuando el gas

to de líquido es bajo, se integra en la salida del separador horizontal un colector de líquidos para proporcionar el tiempo de retención requerido de líquido, con lo que se tiene un diámetro más pequeño del separador.

I.3 Separadores verticales

En la Fig. 2 se muestra un separador vertical, en donde el flujo entra al separador y al igual que en el separador horizontal, en la placa desviadora se tiene la mayor separación inicial de líquido y gas. Este líquido va a la sección de almacenamiento de líquido, mientras que el gas fluye a la parte superior y pasa a través del extractor de niebla.

Como en los separadores horizontales, tanto el nivel del líquido y la presión del separador se mantienen mediante el controlador de nivel y la válvula de descarga. Este también cuenta con las cuatro secciones descritas anteriormente.

I.4 Otros tipos de separadores bifásicos

En la Fig. 3 se muestra un separador esférico, que puede ser considerado como un caso especial del separador --

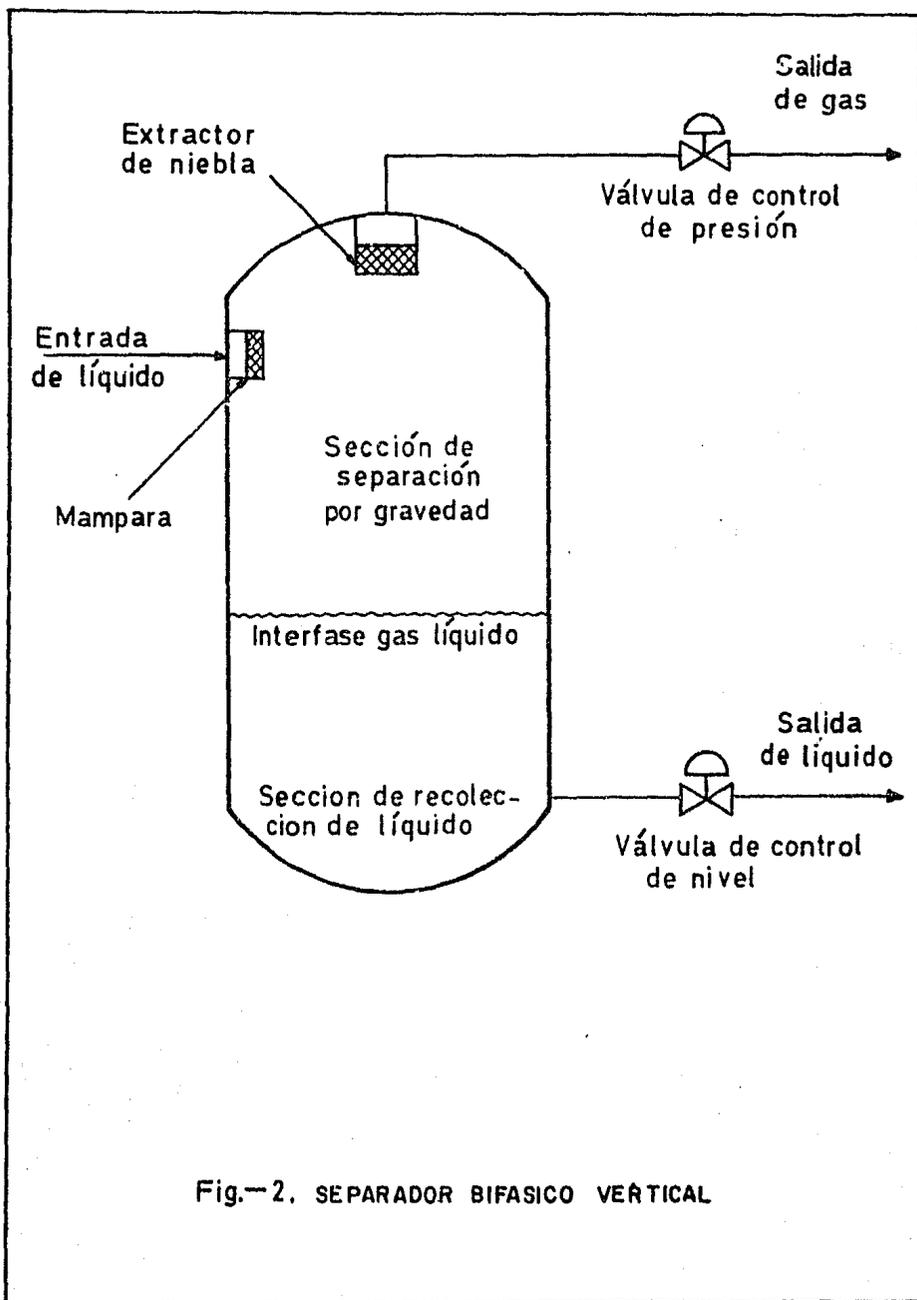
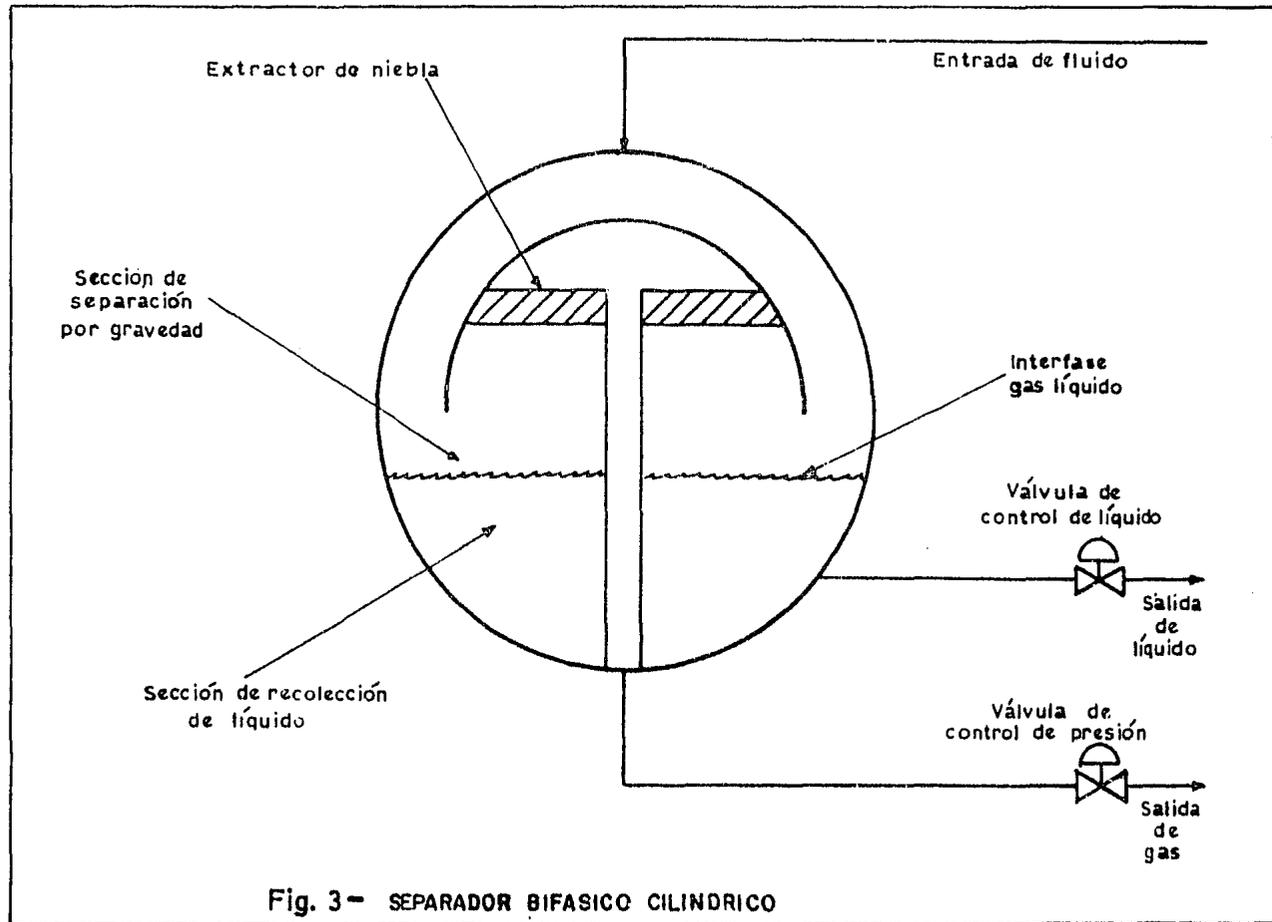


Fig.-2. SEPARADOR BIFASICO VERTICAL



vertical. Este separador puede ser muy eficiente para una --
presión de operación establecida, pero debido a su limitada-
capacidad para manejar el flujo tipo bache y a las dificulta
des de su fabricación, no es muy empleado en el campo. Se --
tienen separadores centrífugos que aunque no ocupan mucho --
espacio para su instalación, no son muy comunes en las opera
ciones de producción, debido a que son demasiado sensibles -
al tipo de flujo y requieren una mayor caída de presión que -
los separadores tradicionales.

Los depuradores, son dispositivos que se utilizan pa
ra manejar corrientes con muy altas relaciones gas-líquido
o sea, se aplican para separar gotas muy pequeñas de líquido
suspendidas en corrientes de gas, (al 100% para partículas -
mayores de 3 micras y el 99% si son menores de 0.5 micras --
aproximadamente) y son . recomendables instalarlos en las-
entradas de las compresoras, con el fin de separar en una --
etapa final el líquido arrastrado por la corriente de gas.

En la Fig. 4 se muestra un depurador horizontal, aun
que también existen en configuración vertical. También hay -
separadores como el de la Fig. 5, los cuales son similares a
los separadores horizontales, pero cuentan con una vasija --
adicional para la sección de almacenamiento del líquido. Es-
tos separadores no son muy empleados debido a su alto costo-

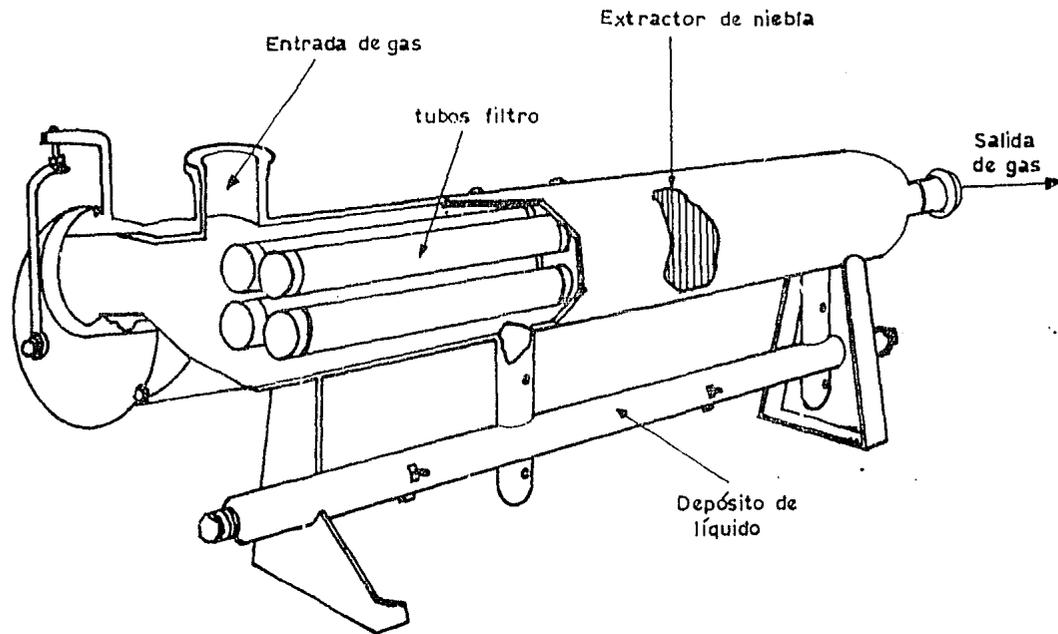
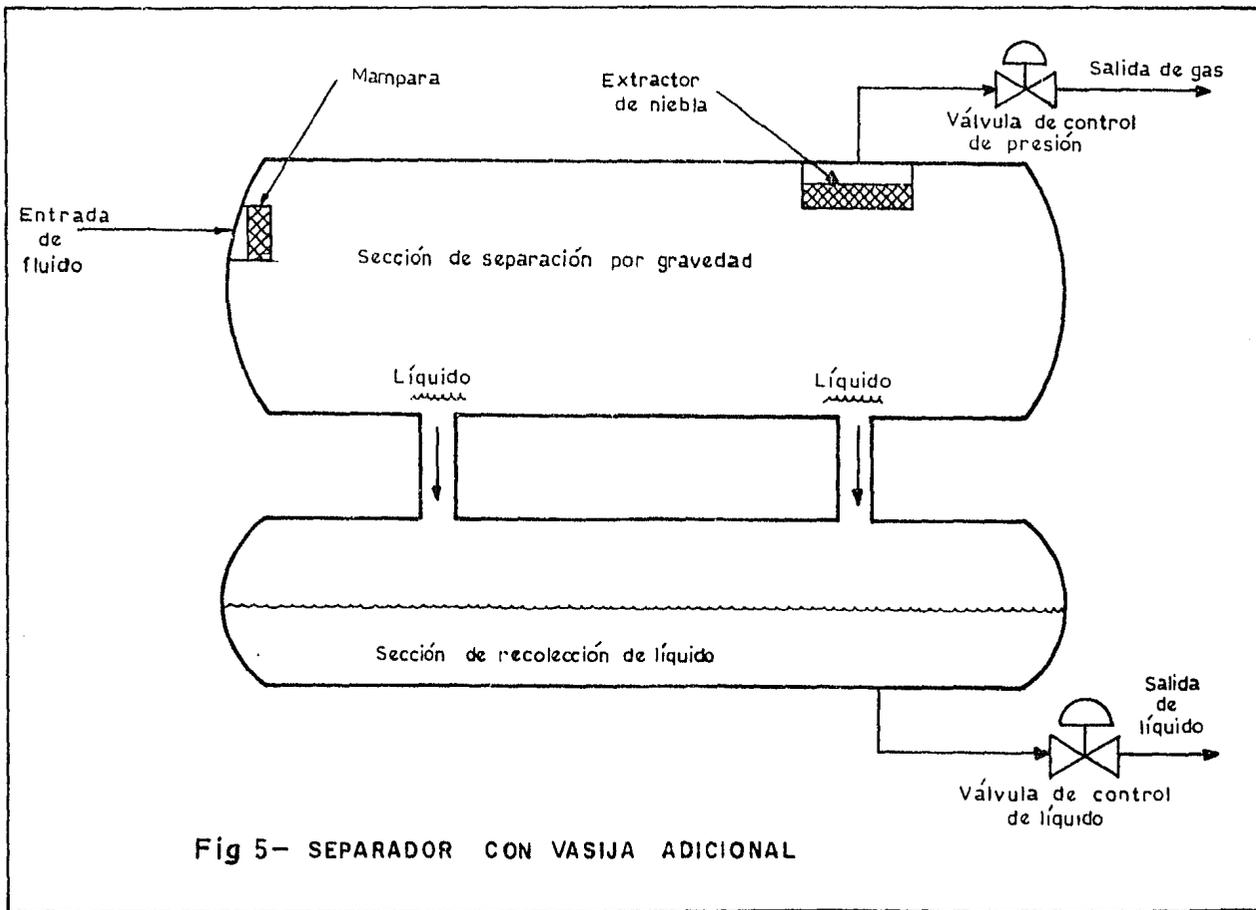


Fig. 4- DEPURADOR HORIZONTAL



y a que los separadores horizontales convencionales presenten menos problemas y mayores ventajas.

I.5 Ventajas y desventajas de separadores -
bifásicos horizontales y verticales (1)
(4).

a) Separador horizontal

Ventajas.

- Tienen mayor capacidad para manejar gas que los verticales.
- Son más económicos que los separadores verticales.
- Son más fáciles de instalarlos.
- Necesitan un diámetro menor que los separadores verticales para manejar la misma cantidad de gas.
- Son muy adecuados para manejar aceite con alto contenido de espuma. Para esto, en la interfase gas-líquido, se instalan placas rompedoras de espuma.
- Son fáciles de transportar.

Desventajas.

- Son difíciles de limpiar de lodo, arena o parafinas.
- Ocupan más área que los separadores verticales; ésto es un factor determinante en las plataformas marinas.
- El control de nivel de líquido es más crítico que en el tipo vertical.
- Tienen mayor tendencia de evaporización de líquidos que los separadores verticales.

b) Separador vertical

Ventajas.

- Los separadores verticales son fáciles de mantenerlos limpios, por lo que se recomiendan para manejar flujos de pozos con alto contenido de sólidos. De acuerdo a experimentos de laboratorio las partículas de los sólidos presentan ángulos de reposo de 45° a 60° , por lo anterior en los separadores horizontales se deben colocar más válvulas de drene que en los verticales, para su limpieza.
- En los separadores verticales el control de -

nivel de líquido no es crítico, puesto que se puede emplear un flotador vertical, logrando que el control de nivel sea más sensible a las variaciones.

- Son muy recomendables para flujos de pozos que producen por bombeo neumático, debido a que el nivel de líquido en los separadores verticales se puede regular en forma moderada, con el fin de manejar baches imprevistos de líquido.
- Tienen menor tendencia de evaporización de líquidos.

Desventajas.

- Tienen menor capacidad para manejar gas que los horizontales.
- Son de mayor costo.
- Son difíciles de instalar y transportar.
- Requieren de un diámetro mayor para manejar la misma cantidad de gas que el separador horizontal.

En general, los separadores horizontales son más económicos para separaciones normales de aceite y gas, particularmente donde puede haber problemas con emulsiones, espumas

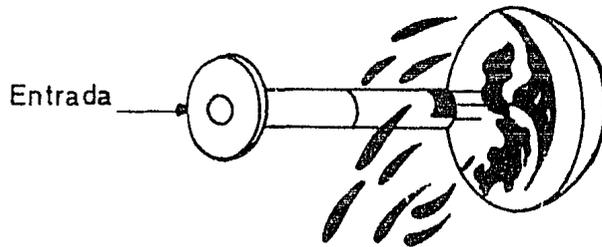
o altas relaciones gas-aceite, mientras que los separadores-verticales trabajan más eficientemente en aplicaciones de bajas relaciones gas-aceite.

I.6 Partes internas del separador.

a) Dispositivos desviadores. En la Fig. 6 se muestran dos tipos básicos de dispositivos desviadores que son usados comunmente. La placa desviadora, puede ser un plato esférico, un ángulo de fierro, un cono o cualquier obstrucción que realice un cambio repentino en la dirección y velocidad del fluido. La ventaja de los mecanismos tales como la media esfera o el cono, es que causan menos turbulencia que las placas o los ángulos de fierro, reduciendo los problemas de arrastre de gas y de emulsificación.

El segundo dispositivo mostrado, es una entrada de tipo ciclónica que usa la fuerza centrífuga, la cual es un poco mejor que la agitación mecánica para separar aceite y gas. Esta entrada puede tener una tobera ciclónica, como se muestra o pueden usarse las paredes del separador para proporcionar una carrera tangencial al fluido. Los diseños de la tobera son variables, pero es comun usar toberas con un diámetro igual a $2/3$ del diámetro del separador, con lo que se crea una velocidad de flujo aproximada de 20 pie/seg.

Placa desviadora



Entrada ciclónica

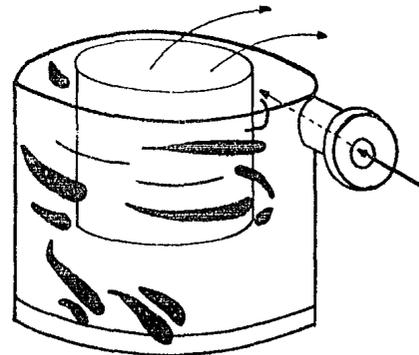


Fig.6- DESVIADORES DE FLUJO

b) Rompedor de olas. Es necesario instalar rompedores de olas en separadores horizontales de gran longitud, -- los cuales son placas verticales espaciadas a lo largo de la interfase gas-líquido y perpendiculares al flujo.

c) Placas rompedoras de niebla. La niebla se puede presentar en la interfase como burbujas de gas que escapan del líquido y se puede estabilizar agregando en la entrada algún agente químico, aunque una solución más efectiva frecuentemente, es forzar a la niebla para que pase a través de una serie de placas o tubos paralelos inclinados, que ayudan a coalescer a las burbujas, (Fig. 7).

d) Rompedor de turbulencia. El rompedor de turbulencia ayuda a prevenir el arrastre de gas cuando se abre la -- válvula de control de líquido, (Fig. 8).

e) Extractor de niebla. En la Fig. 9 se muestran -- tres de los extractores de niebla más comunes: de malla de alambre entretejida, de placas corrugadas y el de veletas.

El extractor de malla de alambre entretejido está -- construído de un fino alambre de acero inoxidable entretejido dentro de un cilindro. Las gotas de líquido chocan en la malla de alambre y coalescen y la eficiencia de este extrac-

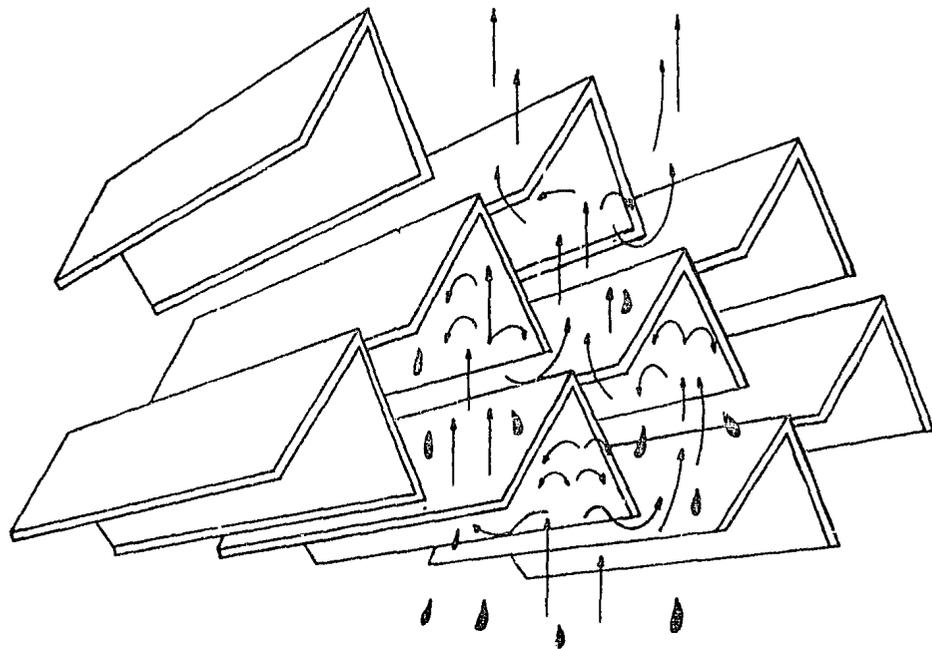
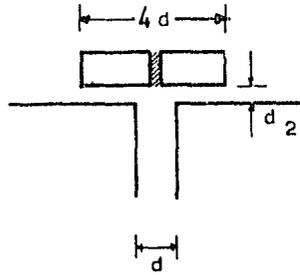
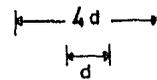
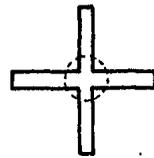
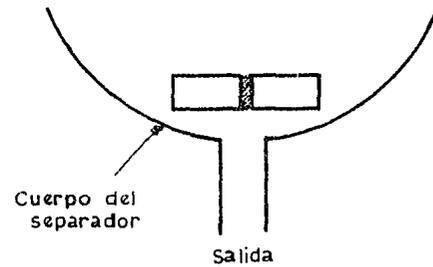


Fig 7- PLACAS ROMPEDORAS DE NIEBLA

Sección longitudinal

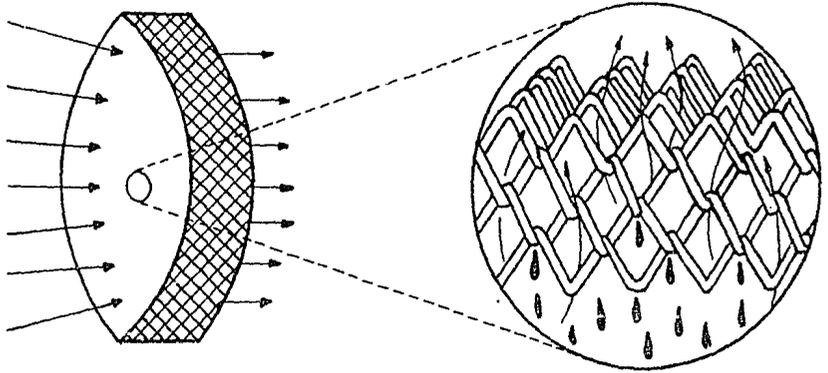


Sección transversal

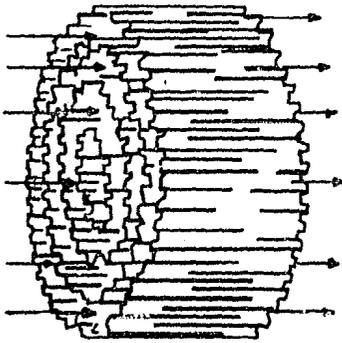


Planta

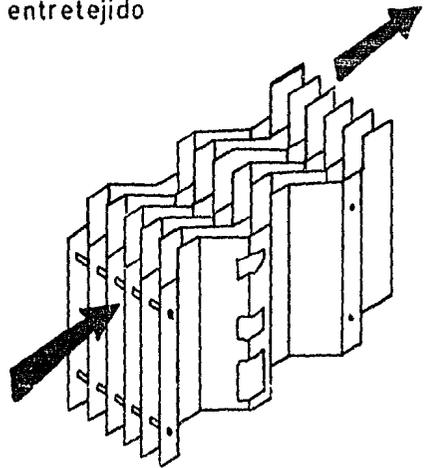
Fig. 8— ROMPEDOR DE TURBULENCIA



Malla de alambre entretrejido



Placas corrugadas



Veletas

Fig. 9— EXTRACTORES DE NIEBLA

tor depende de la velocidad del gas; si la velocidad es muy alta, las gotas de líquido separadas inundarán al extractor y serán arrastradas nuevamente del extractor de niebla por la corriente del gas, y por el contrario, si la velocidad es baja, la corriente de gas arrastrará pocas partículas de líquido.

De datos estadísticos se tiene que para un tamaño -- adecuado de malla se puede eliminar el 99% de partículas de líquido, con un diámetro de 10 micras o mayores.⁽⁴⁾ Este tipo de extractores es muy económico, pero es más fácil de -- inundarse que cualquier otro tipo.

Los extractores de niebla tipo veleta conducen la -- corriente de niebla, a través de placas paralelas produciendo cambios de dirección, tal que las gotas de líquido cho-- quen sobre las placas, coalezcan y después se depositen en -- la sección de almacenamiento de líquido. Con este tipo de -- extractores se tiene una mínima caída de presión.

Los extractores de niebla de placas corrugadas están compuestos de cilindros concéntricos ondulados, ordenados de tal forma que el gas choque sobre las ondulaciones y coalezca.

Los extractores de niebla centrífugos emplean la --- fuerza centrífuga para la separación de las gotas de líquido; son más eficientes que los anteriormente descritos y son menos susceptibles a taponamientos, sin embargo, no son de uso comun debido a que su eficiencia es muy sensible a pequeñas-variaciones del gasto. Este tipo de extractores requieren -- una caída de presión grande para crear la fuerza centrífuga.

I.7 Principios básicos de separación

a) Asentamiento.

En la sección secundaria, las partículas de líquido- se separan de la corriente del gas a contraflujo de éste. -- Estas partículas de líquido que descienden por la acción de- la gravedad se aceleran, hasta que la fuerza de arrastre se- equilibra con la fuerza gravitacional, para que posteriormen- te las partículas de líquido continuen descendiendo a una -- velocidad constante.

De la Ley de Stokes ($N_{Re} < 0.3$) se puede determinar - la velocidad de asentamiento de la partícula cuando se tiene flujo laminar:

$$V_o = 1.78 \times 10^{-6} d_p^2 \frac{(\rho_{ro} - \rho_g)}{\mu_g} \quad (1)^*$$

Para el diseño de equipos de producción, la Ley de Stokes no gobiernan exclusivamente y por consiguiente, para obtener la velocidad de asentamiento de la partícula, se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$V_o = 0.0119 \left(\frac{d_p}{f} \frac{\rho_o - \rho_g}{\mu_g} \right)^{1/2} \quad (2)$$

Donde:

$$f = \frac{24}{N_{Re}} + \frac{3}{N_{Re}} + 0.34 \quad (3)$$

Las ecuaciones (2) y (3) se resuelven en forma iterativa. (*)

b) Tamaño de la partícula de líquido.

El propósito del extractor de niebla en el separador, es eliminar la máxima cantidad de partículas de líquido que-

* Nomenclatura al final.

(*) Para la deducción de las ecuaciones (1) y (2) consultar el apéndice A.

arrastra la corriente de gas antes de salir del separador.

Por la experiencia de campo se tiene, que si el extractor de niebla elimina partículas con un diámetro de 100-micras no se taponará y por lo tanto, se puede tener una eliminación de partículas hasta de 10 micras.

Las ecuaciones de diseño para capacidad de gas estarán basadas para un diámetro de partículas de 100 micras, -- pero las ecuaciones pueden ser modificadas fácilmente para cualquier otro diámetro.

c) Tiempo de retención.

El tiempo de retención se define como el tiempo promedio en que una molécula de líquido es retenida en el separador, ésto es necesario para que el gas y el aceite alcancen su equilibrio a condiciones de operación.

Para obtener una buena eficiencia de separación, la OMPEC* recomienda tiempos de retención de 30 segundos a 3 minutos. Cuando el aceite tiende a formar espumas, el tiempo de retención puede aumentarse hasta 5 minutos, con lo que la

* Oil Metering and Processing Equipment Corp.

capacidad de líquido del separador baja notablemente, o bien, inyectar un agente químico antiespumante.

I.8 Dimensionamiento de separadores

a) Separadores horizontales

El objetivo del dimensionamiento es obtener el diámetro, la longitud y el tiempo de retención adecuados para satisfacer las condiciones de capacidad de gas y líquido del separador.

Las siguientes ecuaciones son las que se utilizan para separar partículas con un diámetro de 100 micras, en un separador donde el nivel de líquido sea igual o menor a la mitad del diámetro interno del mismo separador.

Capacidad de gas.

$$d_i L_e = 42 K \frac{(t_o + 460) q_g}{p_o} \quad (4)$$

Donde:

$$L_e = 0.75L \quad (5)$$

K es una constante que depende de las propiedades -- del gas, del líquido y del tamaño de la partícula a separar, y se define como:

$$K = \left(\frac{f}{d_p} \frac{\rho_g}{(\rho_o - \rho_g)} \right)^{1/2} \quad (6)$$

Para separar partículas de 100 micras, K se puede -- obtener utilizando la Fig. 10, la cual se ajustó, con un método presentado por Poole Lon et al (5), a la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} K = & 0.0862 + 7.8491 \times 10^{-4} \gamma_o - 9.465 \times 10^{-7} \gamma_o^2 + (0.4157 - 8.73 \times 10^{-5} \gamma_o + \\ & 1.728 \times 10^{-5} \gamma_o^2) \frac{\gamma_o \rho_o}{(T_o + 460)} + (-0.9064 - 8.9429 \times 10^{-3} \gamma_o + \\ & 1.6534 \times 10^{-4} \gamma_o^2) \left(\frac{\gamma_o \rho_o}{(T_o + 460)} \right)^2 + (1.4158 + 3.5422 \times 10^{-2} \gamma_o - \\ & 6.9598 \times 10^{-4} \gamma_o^2) \left(\frac{\gamma_o \rho_o}{(T_o + 460)} \right)^3 + (-1.1793 - 4.7671 \times 10^{-2} \gamma_o + \\ & 9.5633 \times 10^{-4} \gamma_o^2) \left(\frac{\gamma_o \rho_o}{(T_o + 460)} \right)^4 + (0.4861 + 2.6753 \times 10^{-2} \gamma_o - \\ & 5.4142 \times 10^{-4} \gamma_o^2) \left(\frac{\gamma_o \rho_o}{(T_o + 460)} \right)^5 + (-0.078 - 5.3051 \times 10^{-3} \gamma_o + \\ & 1.0775 \times 10^{-4} \gamma_o^2) \left(\frac{\gamma_o \rho_o}{(T_o + 460)} \right)^6 \end{aligned} \quad (7)$$

Capacidad del líquido.

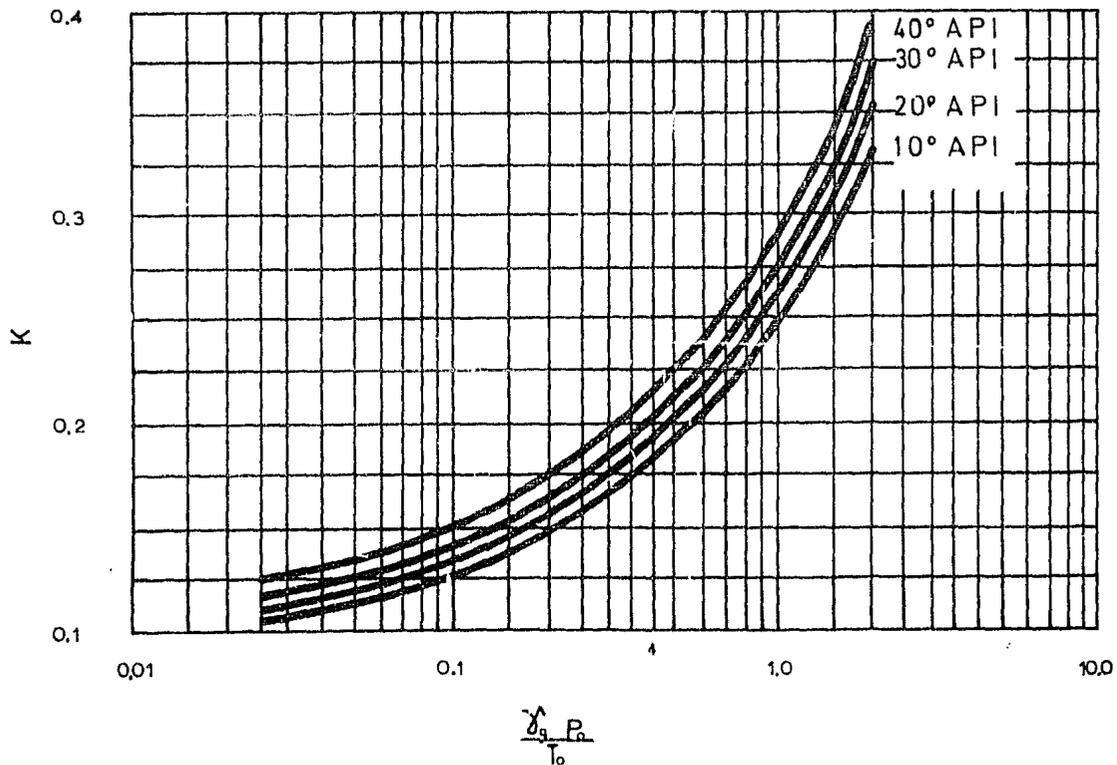


Fig. 10 MONOGRAMA PARA OBTENER LA CONSTANTE K SUPONIENDO UNA SEPARACION DE PARTICULAS DE 100 MICRAS

$$d_i L_e = \frac{t_r q_1}{0.7} \quad (8)$$

b) Separadores verticales.

El dimensionamiento de los separadores verticales -- requiere de la combinación de: diámetro, longitud y tiempos- de retención de líquido; seleccionándose el separador que -- presente aquella combinación que tenga el diámetro mayor que el obtenido por la ecuación de la capacidad de gas.

Capacidad de gas.

$$d_i^2 = 500 \frac{q_o (T_o + 460)}{P_o} \quad (9)$$

Capacidad de líquido.

$$d_i h_L = \frac{t_r q_1}{0.12} \quad (10)$$

La longitud del separador se determina de la geometría una vez que se conocen el diámetro del separador y la altura del líquido, con la siguiente ecuación:

$$L = \frac{h_1 + 76}{12} \quad (11)$$

En la Fig. 11 se muestra como debe ser hecha la asignación de la sección de asentamiento por gravedad, del extractor de niebla y de un espacio que se debe dejar abajo de la salida de líquido para este diseño.

I.9 Procedimiento para dimensionar separadores bifásicos.

Verticales

- 1) Calcular la constante K con la Fig. 10 o la ecuación 7.
- 2) Determinar el diámetro mínimo requerido para la capacidad de gas con la ecuación 9.
- 3) Suponer un tiempo de retención de 1 minuto.
- 4) Suponer un diámetro para la capacidad de líquido.
- 5) Calcular la altura del volumen del líquido con la ecuación 10.
- 6) Determinar la longitud total del separador con la ecuación 11.
- 7) Calcular la relación de delgadez con la siguiente ecuación:

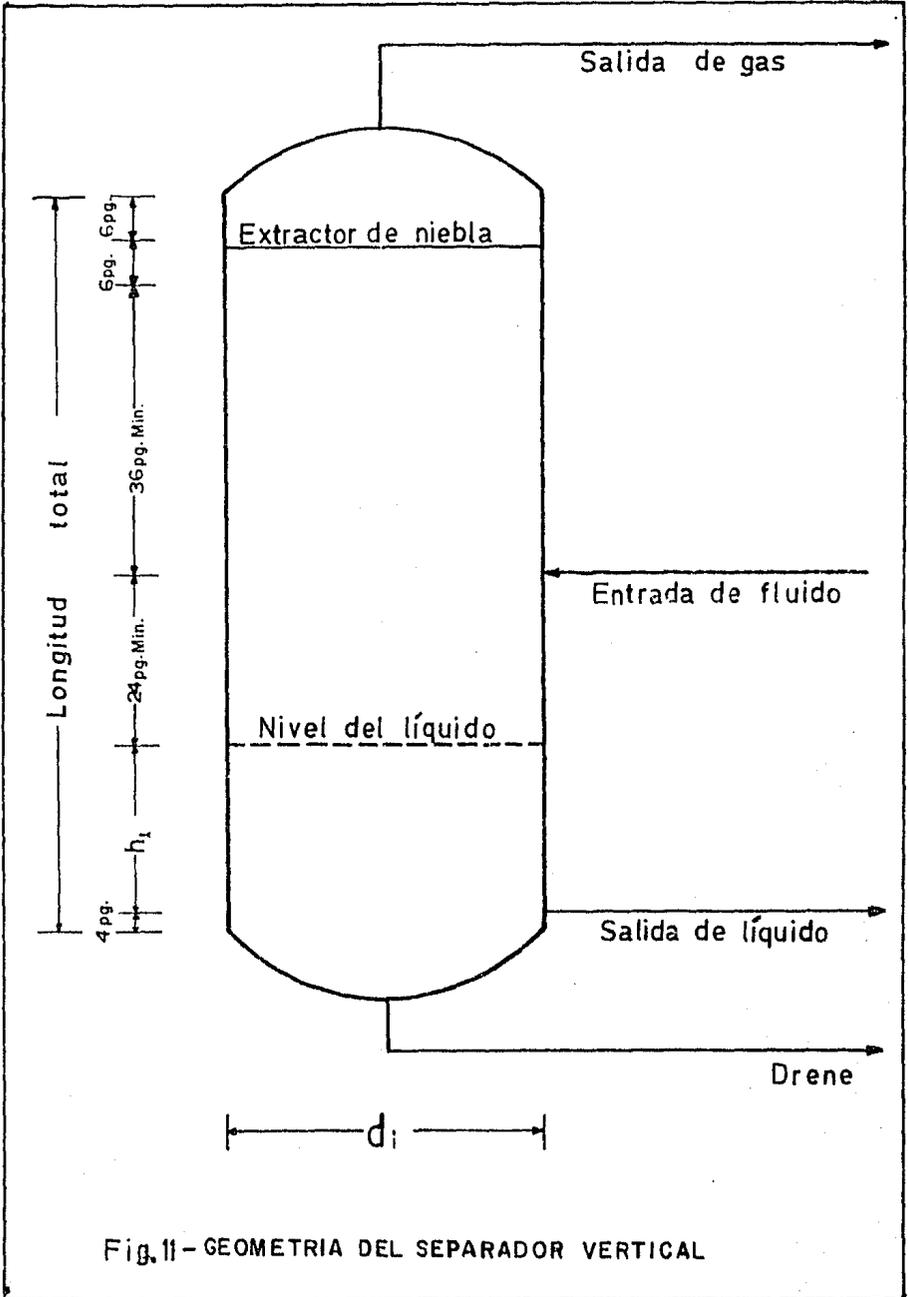


Fig. 11 - GEOMETRIA DEL SEPARADOR VERTICAL

$$R_d = \frac{12L}{d_i} \quad (12)$$

- 8) Tabular los valores de t_r , d_i , h_1 , L y R_d .
- 9) Repetir los pasos 5 a 7 para diámetro que presenten los fabricantes de los separadores.
- 10) Repetir los pasos 4 a 8 para tiempos de retención de 2 y 3 minutos respectivamente.
- 11) Graficar d_i vs. L obtenidos en el paso 6 para cada tiempo de retención.
- 12) Graficar el diámetro mínimo para la capacidad de gas.
- 13) Por la experiencia de campo, se tiene que las relaciones de delgadez a seleccionar varían de 3 a 4. Graficar las relaciones de delgadez de 3, 3.5 y de 4.
- 14) Seleccionar el separador adecuado con diámetro mayor al mínimo, que cumpla con el tiempo de retención requerido y las necesidades que se tengan.

Horizontales

- 1) Determinar la constante K de la Fig. 10 o con la ecuación 7.

- 2) Calcular la capacidad de gas con la ecuación 4.
- 3) Suponer un diámetro para la capacidad de gas.
- 4) Determinar la longitud efectiva, L_e .
- 5) Calcular la longitud total del separador L , con la ecuación 5.
- 6) Tabular d_i , L_e y L .
- 7) Repetir los pasos 4 al 6 suponiendo 3 o 4 diámetros comerciales.
- 8) Suponer un tiempo de retención de 1 minuto.
- 9) Suponer un diámetro para la capacidad de líquido.
- 10) Calcular la longitud efectiva con la ecuación 8.
- 11) Determinar la longitud total con la ecuación 5.
- 12) Calcular la relación de delgadez con la ecuación 12.
- 13) Tabular los valores de t_r , d_i , L_e , L y R_d .
- 14) Repetir los pasos 10 a 13 para los diámetros comerciales.
- 15) Repetir los pasos 9 a 14 para un tiempo de retención de 2 y 3 minutos respectivamente.
- 16) Graficar d_i vs. L obtenidos en el paso 12 para cada tiempo de retención.
- 17) Graficar la relación de delgadez de 3, 3.5 y de 4.
- 18) Seleccionar el separador adecuado que cumpla --

con el diámetro de la capacidad del líquido y -
del gas, de acuerdo al tiempo de retención re--
querible.

CAPITULO II

SEPARADORES TRIFASICOS

Si el aceite y el agua estan mezclados con un cierto grado de intensidad que permita su separación por efecto de la gravedad, entonces aparece en la parte inferior del recipiente una capa de agua relativamente limpia y el crecimiento de esta capa sigue con el tiempo una tendencia como la -- que se muestra en la Fig. 12. Después de un período de tiempo (de 3 a 20 minutos) el cambio en la altura de la capa de agua es despreciable. La fracción de agua, así obtenida, es llamada "agua libre" y el separarla antes del aceite remanente y de emulsión trae beneficios como son: evitar el desperdicio de calor, tener menos etapas en el proceso de deshidratación del aceite, etc.

Los separadores de tres fases, comunmente llamados - eliminadores de 'agua libre, (se emplean para separar y eliminar la fase de agua libre que pueda presentarse en la corriente de fluidos proveniente del pozo, así como el aceite y gas).

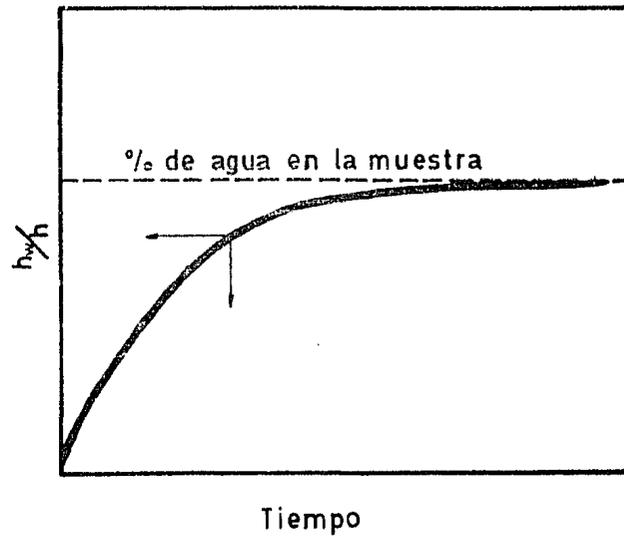
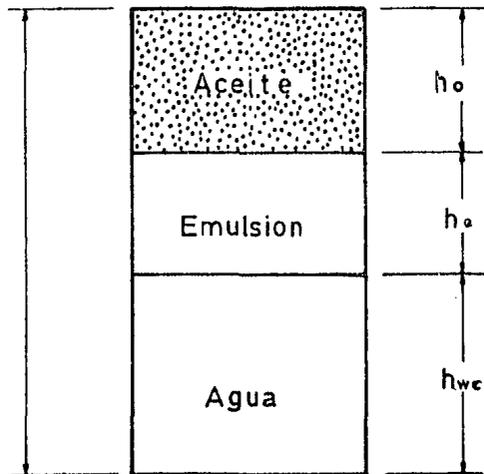


Fig.12-CURVA DE CRECIMIENTO DE LA CAPA DE AGUA

Los aspectos básicos del diseño de separadores trifásicos son similares a los que se discutieron para los separadores bifásicos. En los trifásicos se utilizan dispositivos adicionales para separar las fases líquidas y eliminar el agua libre. La separación del agua es función de los métodos de control usados para mantener la separación y eliminarla del aceite, además se aplican diferentes mecanismos de control los cuales dependen de la configuración y diámetro de la vasija.

II.1 Descripción del funcionamiento del equipo. (6)

II.1.1 Separadores horizontales.

En la Fig. 13 se muestra un separador horizontal, en donde el fluido entra a la vasija y choca contra una mampara; este cambio repentino en la dirección del fluido realiza la separación inicial de líquido y gas como se vió anteriormente.

Un separador trifásico incluye una mampara y un conducto por el cual pasa el fluido que se encuentra abajo de

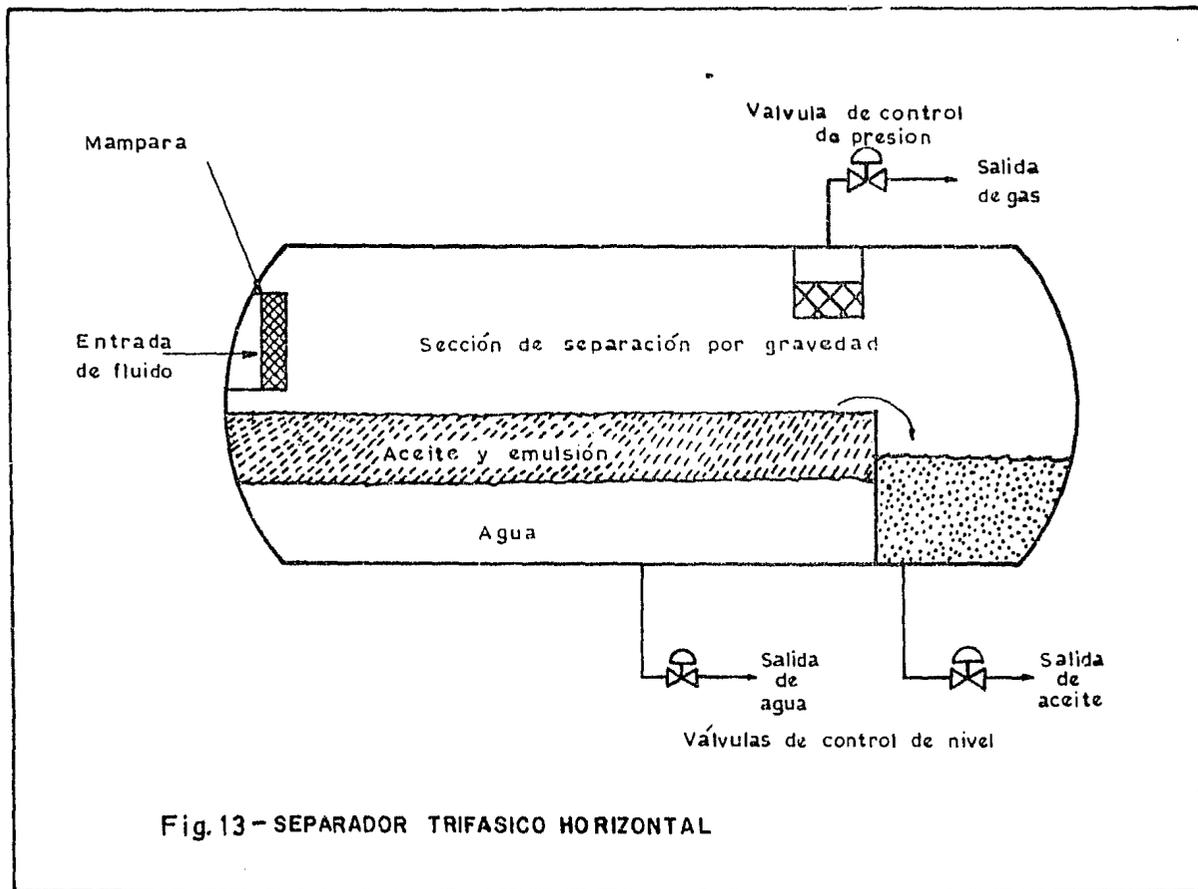


Fig.13 - SEPARADOR TRIFASICO HORIZONTAL

la interfase gas-aceite hasta las cercanías de la interfase-aceite-agua. La sección de recolección de líquido de la vasija proporciona el tiempo de retención suficiente, para que el aceite y la emulsión formen una capa en la parte superior y el agua libre se deposite en el fondo.

La Fig. 13 ilustra un separador horizontal con un vertedero y un controlador de interfase, donde este regula la altura de la interfase agua-aceite y opera la válvula de descarga del agua, permitiendo que salga la cantidad adecuada de ésta, y manteniendo la interfase aceite-agua a la altura del diseño, mientras que el vertedero regula el nivel de aceite. El nivel de aceite del depósito esta regulado por un controlador de nivel, que opera la válvula de descarga del aceite.

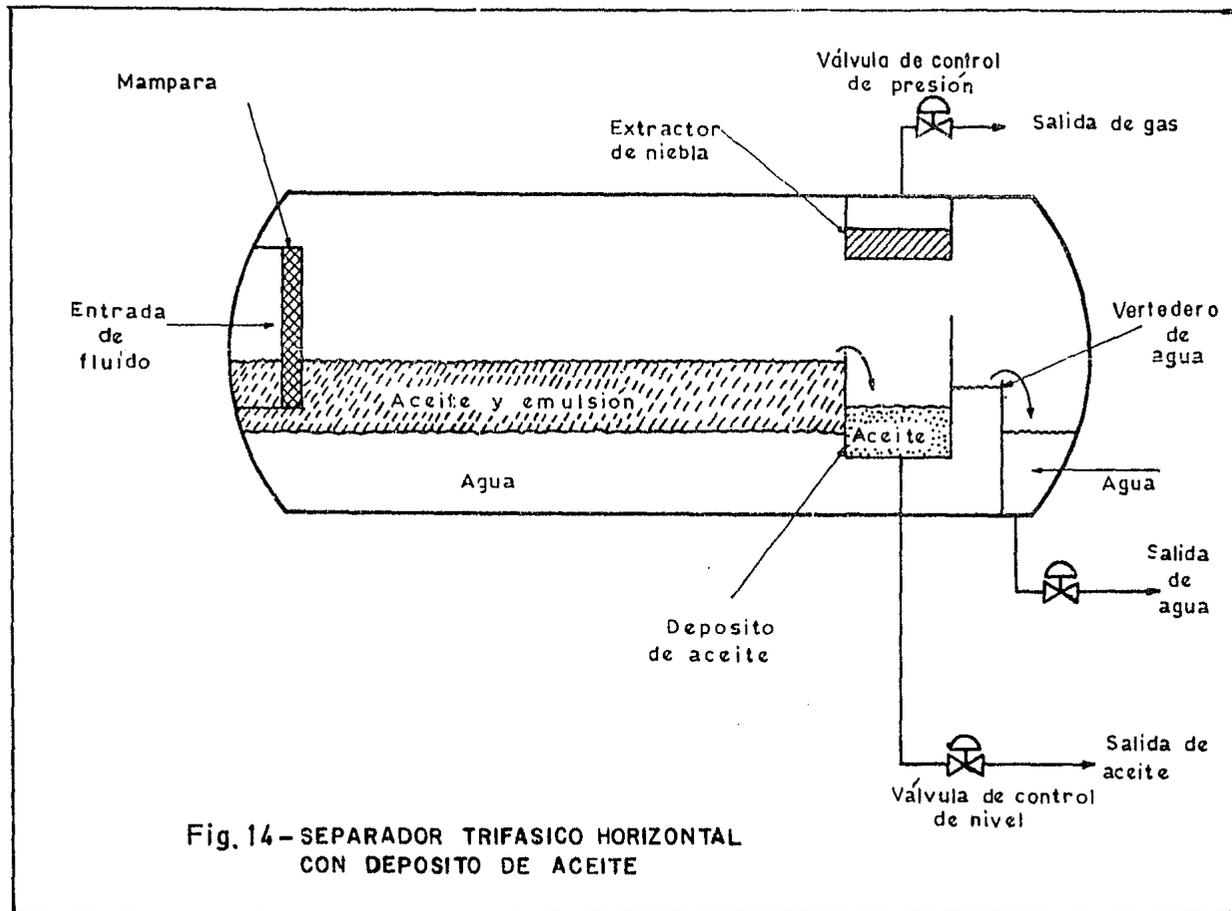
El gas fluye horizontalmente a través del separador-trifásico y pasa por un extractor de niebla antes de abandonar el recipiente. Una válvula de control de presión mantiene la presión de operación constante en el separador trifásico.

El nivel de la interfase gas-aceite puede variar desde el 50 hasta el 75% del diámetro y depende de los objetivos de producción establecidos (ya sea mayor recuperación de hidrocarburos líquidos o mayor recuperación de gas), pero es

muy común tomar el 50% del diámetro, el cual se emplea para las ecuaciones de diseño en éste capítulo.

Otra configuración es la del depósito (bucket) y el vertedero (Fig. 14), con lo que se elimina el uso del controlador de interfase del líquido. Aquí el aceite se desborda por un vertedero y cae a un depósito en donde la altura del aceite esta gobernada por un controlador de nivel que opera la válvula de descarga del aceite. mientras que el agua libre fluye por debajo del depósito de aceite y después se desborda por un vertedero, el cual esta a una altura menor que la correspondiente al aceite. El nivel corriente abajo del vertedero para el agua, esta regulado por un controlador de nivel que opera a la válvula de descarga del agua.

La altura del vertedero del aceite controla el nivel del líquido en el separador trifásico, mientras que la diferencia entre las alturas de la represas del aceite y del agua, controlan el espesor de la capa de aceite, debido a la diferencia en densidades relativas. Para la operación del separador trifásico, es necesario que la altura del vertedero del agua esté por abajo de la altura del vertedero del aceite, para que al espesor de la capa de aceite se le proporcione el tiempo de retención suficiente, pero si la represa del agua está muy baja y la diferencia entre las densidades rela



tivas no es muy grande como se anticipó, la capa de aceite crece hasta que el aceite pase por debajo del depósito de aceite. Normalmente, la altura del vertedero del aceite o del agua se fabrican para manejar en forma adecuada los cambios que puedan existir en los gastos o en las densidades relativas del aceite y del agua.

El control de interfase tiene la ventaja de ser fácilmente modificado, para manejar cambios inesperados en la densidad relativa o en los gastos de aceite y agua. Sin embargo, para aceite pesado o donde se anticipen grandes cantidades de emulsiones o parafinas, puede ser difícil determinar la interfase y en tal caso, se recomienda el control con el uso del depósito y el vertedero.

II.1.2 Separadores verticales.

En la Fig. 15 se muestra una configuración para un separador trifásico vertical, donde el flujo entra al recipiente chocando con una mampara. En la mampara se separa la mayor cantidad de gas, además se requiere un conducto para transmitir el líquido que se encuentra abajo de la interfase gas-aceite, hasta las cercanías de la interfase aceite-agua sin afectar la acción de desbordamiento del aceite. Se nece-

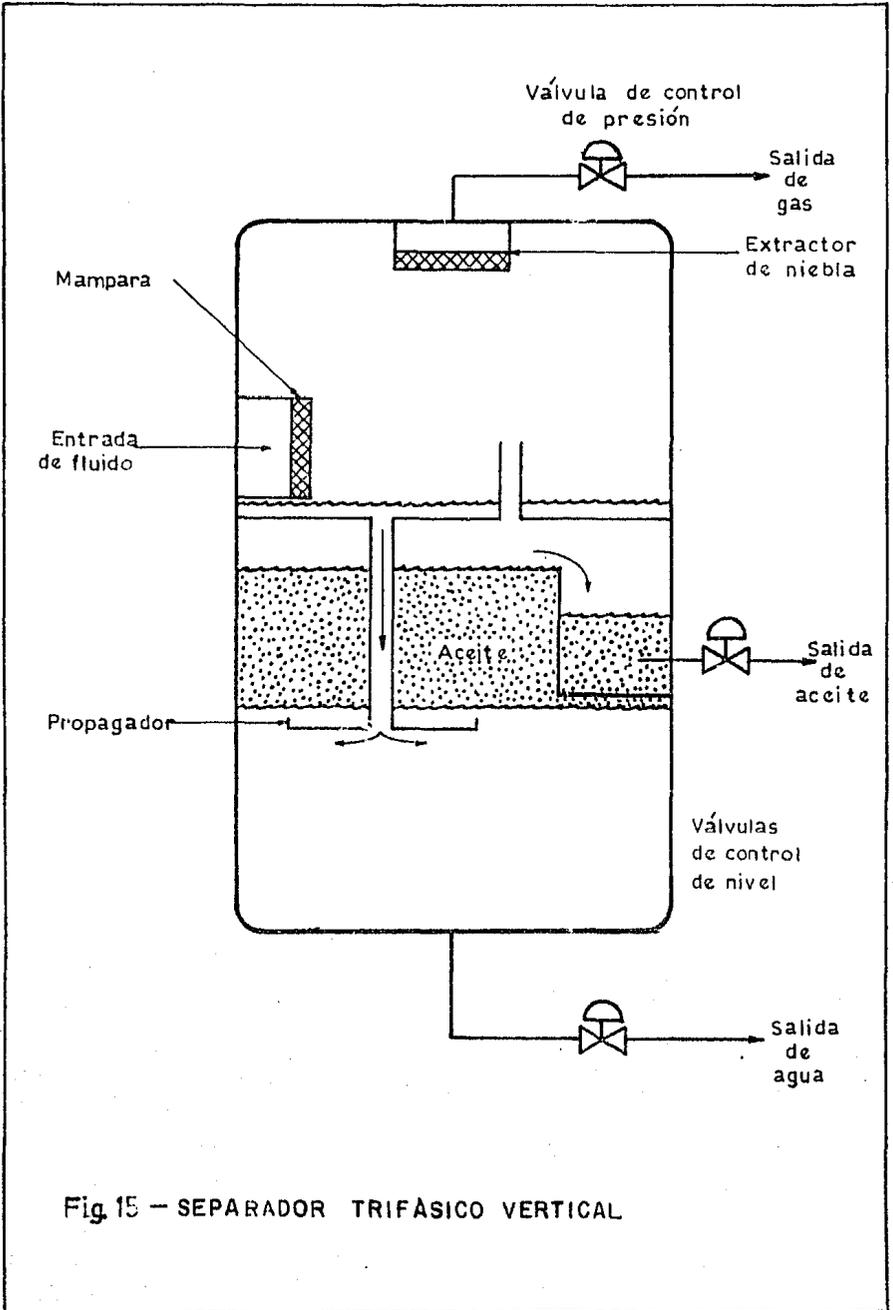
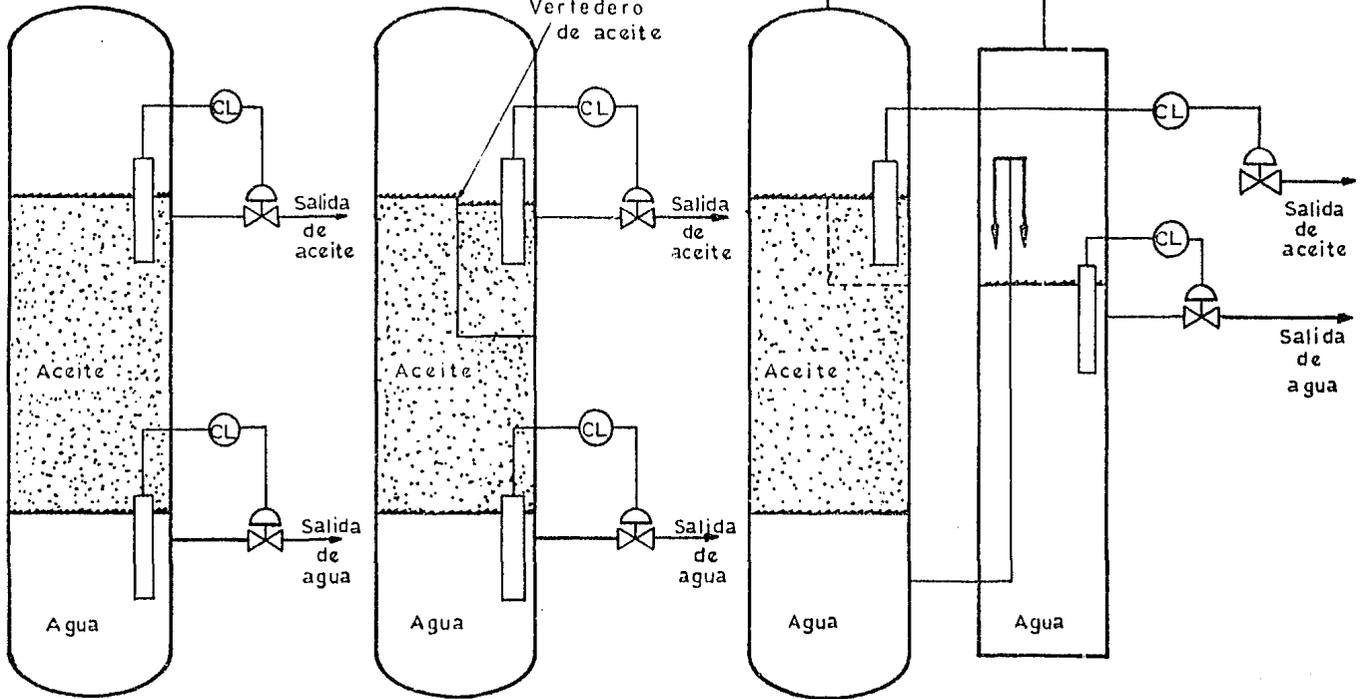


Fig. 15 - SEPARADOR TRIFÁSICO VERTICAL

CL = control de nivel



Control de nivel de interfase

Control del nivel de interfase con cámara de aceite

Pierna de agua con ó sin cámara de aceite

Fig. 16- METODOS DE CONTROL DE NIVEL EN SEPARADORES TRIFASICOS VERTICALES

sita una tubería para igualar la presión del gas, entre la sección inferior y la sección de gas.

En la salida del conducto, el aceite se eleva por gravedad y cualquier cantidad de agua libre atrapada en la fase de aceite se separa por diferencia de densidades. Las gotas de agua fluyen en contracorriente al flujo de aceite y similarmente, las gotas de aceite atrapadas en la fase de agua suben a contracorriente del flujo de agua.

La Fig. 16 muestra los métodos de control de nivel utilizados en los separadores verticales⁽⁶⁾⁽⁷⁾. El primero es un control de nivel, el cual usa un flotador móvil que controla la interfase gas-aceite y opera una válvula de descarga del aceite en la sección del aceite. Además, se utiliza un flotador para la interfase aceite-agua que controla y opera una válvula de drene del agua. Debido a que no se utilizan vertederos o partes internas complicadas, éste sistema es el más fácil de fabricar y maneja muy bien la producción de arena y sólidos.

El segundo método mostrado usa un vertedero para controlar el nivel de la interfase gas-aceite a una altura constante, con lo que se provoca una mejor separación aceite-agua, ya que todo el aceite debe subir a la altura de la re-

presa del aceite antes de salir del separador. Las desventajas son que el depósito de aceite disminuye el volumen neto de separación del separador y aumenta los costos de fabricación.

El tercer método usa dos vertederos con lo que se -- elimina la necesidad de un flotador de interfase, ya que el nivel de la interfase se controla por la altura relativa entre el vertedero externo de agua y el vertedero del aceite o por las alturas relativas de las salidas. Esto es similar al diseño del depósito y el vertedero de los separadores horizontales.

La ventaja de este último sistema, es que elimina el control del nivel de interfase y la desventaja es que necesita una tubería externa adicional y mayor espacio.

II.2 Partes internas del separador.

La mayor parte de los elementos internos se discutieron en el capítulo anterior referente a separadores bifásicos. Otros componentes son las placas coalescedoras y los -- eliminadores de sólidos y arena.

Los diseños de placas o tuberías coalescedoras ayudan a unir las gotas dispersas de aceite en agua y las gotas de agua en aceite, pero debido a que se taponan fácilmente por sólidos o parafinas, no se recomiendan. Sin embargo donde se tengan restricciones en cuanto a espacio, pueden ser consideradas puesto que aumenta la eficiencia en la separación.

Los sólidos y la arena se pueden acumular en la parte inferior del separador y si se permite su incremento, estas acumulaciones disminuyen gradualmente el volumen del separador, y por tanto su capacidad de manejo es menor. Los sólidos que se depositan en la parte inferior en ocasiones llegan a estar bien empacados.

El fondo conico es un dispositivo que puede usarse para ayudar en el drene de los sólidos en un separador vertical, ya que posee un ángulo de 45 a 60° con respecto a la horizontal. De la experiencia de campo se tiene que la arena mojada por aceite tiende a adherirse a cualquier superficie inclinada 45° con la horizontal y por tal motivo a veces se usan chorros de arena.

Los drenes de arena se abren en forma controlada y un fluido a alta presión (generalmente agua producida) se

bombee a través de las toberas para agitar y expulsar los -- sólidos. Las toberas están diseñadas para una velocidad tipo chorro, de 20 pies/seg. y están orientadas para dar un buen alcance al fondo de la vasija.

Se debe tener presente que existe una gran desventaja, si se utiliza un fluido con arena a alta presión, para eliminar los sólidos de cualquier separador, puesto que la arena es muy abrasiva y más a presión.

II.3 Problemas operativos.

Los problemas de operación que se presentan frecuentemente en los separadores son:

a) Crudos espumosos. Es incosteable eliminar las impurezas y el agua antes que la corriente alcance el -- separador, pero la mayor causa de que se forme la espuma son precisamente las impurezas en el aceite crudo. El problema de la espuma no se presenta si al fluido se le asegura el -- tiempo de retención adecuado o si se tiene una superficie de coalescencia suficiente para que se rompa la espuma; pero en caso de que no se de lo anterior, la espuma presenta un problema triple en el separador:

- Cualquier mecanismo de control se complica, y por lo tanto el control mecánico del nivel del líquido, esencialmente, cuando se trabaja con tres fases en lugar de dos.
- La espuma tiene una gran relación volumen-peso, por lo tanto, puede ocupar mucho volumen en la vasija, que de otra forma estaría disponible en la sección de coalescencia del líquido o en la depositación.
- En una etapa del proceso que se presente - descontrol de espuma, es imposible eliminar del separador el gas separado o el --- aceite desgasificado sin arrastrar algo -- del material espumoso por la salida del -- líquido o del gas.

Teniendo en cuenta lo anterior, con un separador de espuma (foam comparator), se pueden obtener las tendencias espumosas entre un aceite conocido y uno nuevo, del cual no se tiene información. La comparación proporciona la tendencia relativa a la formación de espuma que puede esperarse en el aceite nuevo, y entonces es posible hacer un ajuste en -- los parámetros de diseño.

Los comparadores de espuma operan a presión atmosférica.

rica, por lo cual solamente sirven como indicadores para la formación de espuma y no se deben tomar como métodos precisos, puesto que la cantidad de espuma formada depende tanto de la caída de presión en la entrada del líquido y de las características del líquido a las condiciones de operación.

En algunos casos, el efecto de la temperatura puede ser muy importante, sin embargo es ignorado frecuentemente en el diseño (para la influencia en la formación de espuma). La influencia de este efecto puede ser evaluado usando un comparador de espumas.

Los inhibidores de espuma incrementan la capacidad de un separador. Sin embargo, en el dimensionamiento de un separador para el manejo de un crudo en particular, no se supone el uso de un inhibidor debido a que las características del crudo y de la espuma, puede cambiar durante la vida del campo. Además, el costo de un inhibidor de espuma, para tratar un alto gasto, puede ser prohibitivo. La capacidad suficiente es proporcionada por el separador para manejar la producción esperada sin el uso de inhibidor de espuma. El uso de un inhibidor puede aumentar la capacidad de diseño.

b) Parafinas. La operación de un separador -

es afectada por la acumulación de parafina. En particular, - las placas coalescedoras en la sección del líquido, así como los extractores de niebla tipo malla en la sección de gas -- están expuestas al taponamiento por parafina. Si la parafina es un problema se debe considerar el uso de extractores de - niebla tipo placa y centrífugo; asimismo, para limpiar de -- parafinas las partes internas se emplean toberas u otros dis_upositivos que permiten el paso de vapor o solventes.

c) Arena. La presencia en los separadores de arena es muy inconveniente, porque erosiona y obstruye las - válvulas, partes internas y se acumula en el fondo del sepa-
rador. Las acumulaciones se pueden controlar usando separadores verticales con fondo cónico, toberas y drenes, como se -
vió anteriormente.

El posible taponamiento de las partes internas se -- debe considerar en el diseño, sin embargo, es difícil lograr un diseño que proporcione una buena separación y la menor -- cantidad de trampas para la acumulación de arena. Por lo que un diseño que proporcione el mejor mecanismo para separar -- gas, aceite y agua, probablemente presente áreas para la acu-
mulación de arena. Un balance práctico de estos factores pro-
porciona una mejor solución.

d) Emulsiones. Después de un período de tiempo, los materiales sólidos y otras impurezas emulsificadas se acumulan en la interfase agua-aceite; esto, además de --- afectar el control del nivel del líquido, disminuye el tiempo de retención del agua o del aceite en el separador, lo -- que implica una disminución consecuente en la eficiencia de separación agua-aceite. Para minimizar este problema, se --- agregan agentes químicos o calor.

e) El arrastre de líquido en la corriente de gas y el efecto por excesiva vaporización de aceite son problemas operativos muy comunes. El primero ocurre cuando el líquido escapa con el gas liberado y es un indicador de que existe un nivel de líquido alto, o que se han dañado las partes internas, existe espuma, se hizo un mal diseño, salidas taponadas del líquido, o que la capacidad de diseño es inadecuada. El segundo ocurre cuando el gas libre es arrastrado en la corriente de líquido y es un indicador de un bajo nivel del líquido, turbulencia o falla el control de nivel.

II.4 Principios básicos de separación.

Los conceptos y ecuaciones para la separación bifásica también son válidos para los separadores de tres fases.

a) Asentamiento de aceite y agua. El flujo - alrededor de las gotas de aceite en el agua o de las gotas - de agua en el aceite es laminar, así que gobierna la Ley de Stokes y la velocidad terminal de la gota es:

$$V_p = 1.78 \times 10^{-6} \frac{(\gamma_w - \gamma_{ro}) (d_p)^2}{\mu_c} \quad (13)$$

b) Tamaño de la gota de agua en el aceite. - Es difícil predecir el tamaño de la gota de agua que debe -- separarse de la fase de aceite para coincidir con la defini- ción de "aceite libre" y a menos que se tengan datos disponi- bles de laboratorio o de campo, en el diseño de las vasijas- se supone una separación de gotas de agua de 500 o más mi--- cras. Si se aplica este criterio, la emulsión que es tratada por el equipo corriente abajo contiene menos del 5 al 10% de agua sin un excesivo programa de tratamiento químico.

c) Tamaño de la gota de aceite en el agua. - De la ecuación 13, se puede observar que es más fácil la se- paración de gotas de aceite en agua que las gotas de agua en aceite. El primer objetivo de la separación trifásica es pre- parar al aceite para tratamientos adicionales. La experien- cia de campo indica que el contenido de aceite en el agua --

producida de un separador trifásico, diseñado para eliminar el agua del aceite, puede esperarse que esté entre algunos cientos y 2000 mg/l. Esta agua necesita un tratamiento adicional el cual se discutirá más adelante.

d) Tiempo de retención. Se necesita un cierto tiempo de retención para una cantidad de aceite almacenado en el separador trifásico para asegurarse que el aceite alcance el equilibrio y se libere el gas. También se requiere de un tiempo adicional para asegurarse que el agua libre tenga tiempo de alcanzar el tamaño de gota necesario para coalescer de acuerdo a la ecuación 13. El tiempo de retención se puede obtener mediante un análisis de laboratorio de una muestra de campo, y varía de 3 a 30 minutos. Para diseño se sugiere un tiempo de retención de 10 minutos para el aceite, si es que no se cuenta con mejor información.

En forma similar, se necesita un tiempo de retención para el agua, asegurándose que las gotas de aceite arrastradas por ésta, tengan el tiempo suficiente para coalescer y alcanzar la interfase aceite-agua. Los tiempos de retención para la fase de agua varían de 3 a 30 minutos, dependiendo de datos de laboratorio o de campo. Si esta información no está disponible, se recomienda un tiempo de retención de 10-

minutos.

II.5 Dimensionamiento de los separadores. (6)

Las ecuaciones que se presentan pueden utilizarse para determinar el dimensionamiento inicial, sin embargo, están destinados para complementar la experiencia de operación y no para reemplazarla, por lo que el ingeniero decide la selección final del tipo y tamaño de separador.

El ingeniero de producción debe considerar los requerimientos de producción, incluyendo los posibles cambios en el gasto y las variaciones de la propiedades con el tiempo.

II.5.1 Separadores horizontales.

El diámetro y la longitud son los parámetros esenciales en el dimensionamiento de un separador horizontal. Para su determinación, existen ecuaciones con las que se obtienen ciertas combinaciones aceptables:

Del capítulo anterior se tiene la siguiente ecuación:

$$d_i L_e = 42K \frac{q_g (T_o + 460)}{P_o} \quad (4)$$

Para el tiempo de retención se tiene la siguiente -- fórmula que aporta combinaciones aceptables de d_i y L_e :

$$d_i^2 L_e = 1.42 (q_w (t_r)_w + q_o (t_r)_o) \quad (14)$$

Ecuación de asentamiento. Para separar gotas de agua de 500 micras de la capa de aceite, se debe obtener un diámetro máximo del separador de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- Calcular $(h_o)_{\max}$:

$$(h_o)_{\max} = 320 (t_r)_o \frac{(\gamma_w - \gamma_{ro})}{\mu_o} \quad (15)$$

- Calcular el área de la sección transversal del separador ocupada por la fase de agua:

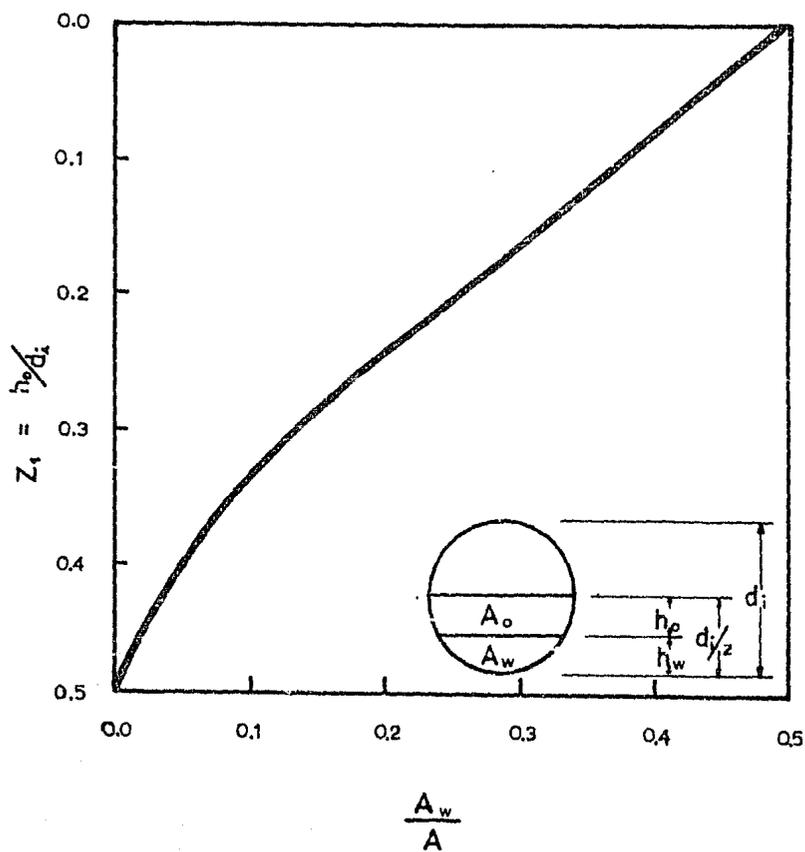


Fig.17-GRAFICA PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE Z_1

$$\frac{A_w}{A} = \frac{0.5 q_w (t_r)_w}{q_o (t_r)_o + q_w (t_r)_w} \quad (16)$$

- Determinar el coeficiente z_1 de la siguiente ecuación ajustada de la Fig. 17.

$$z_1 = 0.4943522 - 2.0063918 \left(\frac{A_w}{A}\right) + 6.4414867 \left(\frac{A_w}{A}\right)^2 - 18.3625254 \left(\frac{A_w}{A}\right)^3 + 26.5933776 \left(\frac{A_w}{A}\right)^4 \quad (17)$$

- Calcular $(d_i)_{\max}$:

$$(d_i)_{\max} = \frac{(h_o)_{\max}}{z_1} \quad (18)$$

II.5.2 Separadores verticales.

Los separadores verticales trifásicos al igual que los bifásicos, también deben tener un diámetro mínimo para permitir la depositación de gotas de agua de 500 micras o mayores. La altura del separador trifásico se determina de las condiciones del tiempo de retención.

Del capítulo anterior (sobre separadores bifásicos), se tiene la siguiente ecuación:

$$(d_i)_{\min}^2 = 500K \frac{q_g (T_o + 460)}{P_o} \quad (9)$$

Ecuación de asentamiento:

$$(d_i)_{\min} = 0.027 \frac{q_o \mu_o}{\sqrt{v_w - v_{ro}}} \quad (19)$$

Ecuación del tiempo de retención del líquido:

$$h_o = \frac{(t_r)_o q_o}{0.12 (d_i)^2} \quad (20)$$

$$h_w = \frac{(t_r)_w q_w}{0.12 (d_i)^2} \quad (21)$$

Como en el caso de los separadores verticales bifásicos, una vez seleccionadas la altura de la capa de aceite -- (h_o) y la altura de la capa de agua (h_w), la longitud total del separador puede aproximarse en función de la distribución de sus partes externas. Para fines prácticos se supone que:

$$L = \frac{h_o + h_w + 76}{12} \quad (22)$$

Cualquier diámetro mayor que los calculados por las ecuaciones (9) y (19) se acepta si satisface las ecuaciones (20) y (21).

II.6 Procedimientos para dimensionar separadores trifásicos.

Vertical

- 1) Determinar la constante K con la figura 10 o de la ecuación 7.
- 2) Determinar el diámetro mínimo requerido para la capacidad de gas con la ecuación 9.
- 3) Calcular el diámetro mínimo para el asentamiento de las gotas de agua con la ecuación 19.
- 4) Suponer un tiempo de retención de 10 min.
- 5) Suponer un diámetro mayor que el diámetro mínimo obtenido en el paso 3.
- 6) Obtener la altura de la capa de aceite con la ecuación 20.

- 7) Obtener la altura de la capa de agua con la ecuación 21.
- 8) Calcular la longitud total del separador con la ecuación 22.
- 9) Determinar la relación de delgadez con la ecuación 12.
- 10) Tabular los valores de t_r , d_i , L y R_d .
- 11) Repetir los pasos del 5 al 10 para otros diámetros.
- 12) Repetir los pasos del 5 al 11 para otros tiempos de retención.
- 13) Graficar d_i contra L , obteniendo una curva -- para cada tiempo de retención.
- 14) Graficar la relación de delgadez de 1.5 y 3.0.
- 15) Seleccionar el separador que esté dentro del rango de la relación de delgadez.

Horizontal

- 1) Determinar la constante K de la Fig. 10 o con la ecuación 7.
- 2) Obtener la capacidad de gas con la ecuación 4.
- 3) Suponer un diámetro para la capacidad de gas.
- 4) Determinar la longitud efectiva de la ecuación 4.

- 5) Calcular la longitud total (L), con la ecuación 5.
- 6) Tabular d_i , L_e y L .
- 7) Repetir pasos 4 a 6 para diferentes diámetros.
- 8) Suponer un tiempo de retención de 10 min.
- 9) Calcular el espesor máximo de la capa de aceite con la ecuación 15.
- 10) Determinar la relación A_w/A con la ecuación 16.
- 11) Obtener el coeficiente Z_1 de la Fig. 17 o de la ecuación 17.
- 12) Calcular el diámetro máximo para el espesor de la capa de aceite con la ecuación 18.
- 13) Calcular $d_i^2 L_e$ de la ecuación 14.
- 14) Suponer un diámetro (d_s) para la capacidad de líquido.
- 15) Calcular la longitud efectiva (L_e) con la ecuación 4.
- 16) Determinar la longitud total (L), con la ecuación 5.
- 17) Obtener la relación de delgadez con la ecuación 12.
- 18) Tabular los valores de t_r , d_s , L_e , L y R_d .
- 19) Repetir los pasos 15 al 18 para otros diámetros.
- 20) Repetir los pasos del 9 al 19 para otro tiempo.

po de retención.

- 21) Graficar d_s contra L , obteniendo una curva -- para cada tiempo de retención.
- 22) Graficar la relación de delgadez de 3, 4 y 5.
- 23) Seleccionar el separador adecuado que cumpla - con el requerimiento.

CAPITULO III

TRATADORES DE CALOR

Los separadores descritos en los capítulos anteriores, se encargan de separar casi toda el agua que tiene el fluido producido, sin embargo, debido a especificaciones contraídas en su entrega (refinería, venta, etc.), se tiene que eliminar completamente el agua, para lo cual es necesario -- incluir tratadores de calor como parte del equipo de proceso.

El diseño de los tratadores de calor debe estar basado tanto en la experiencia de campo como en el análisis de laboratorio de los fluidos que serán tratados, aunque generalmente no siempre se tienen ambas condiciones.

Se deben considerar los siguientes factores en los métodos de análisis de crudo para obtener adecuadamente los requerimientos contraídos.

- a) Tensión interfacial de la emulsión.
- b) Densidad relativa del aceite y el agua --
producida.
- c) La corrosividad del aceite, del agua pro-
ducida y del gas.
- d) Tendencia a la formación de incrustacio--
nes del agua producida.
- e) Cantidad del fluido que será tratado y --
porcentaje de agua en éste.
- f) Tendencia a la formación de parafinas de-
aceite crudo.
- g) Presión de operación adecuada para el ---
equipo de producción.
- h) Especificaciones de venta para el gas.

El método más común para romper la emulsión inversa-
es mediante la adición de calor, que provoca los siguientes-
efectos: (8)

- 1) Reduce la viscosidad del aceite.
- 2) Por expansión del agua, la película que -
rodea a la gota, reduce su resistencia y -
se rompe.
- 3) Aumenta el movimiento de las moléculas.
- 4) Aumenta la diferencia de densidades entre
la partícula de agua y las de aceite.

Si se incrementa la temperatura de los dos fluidos - inmiscibles y además, si las partículas dispersas de agua -- chocan entre si con la suficiente fuerza, la probabilidad de que las partículas coalezcan aumenta, ya que las partículas -- cuando se unen aumentan en tamaño asentándose rápidamente y -- el agua se deposita en el fondo del tratador debido a la diferencia entre los dos fluidos inmiscibles.

El proceso anterior requiere que las partículas de -- agua tengan el tiempo de contacto adecuado, considerando que la fuerza de flotación actúa en la partícula coalescida y -- permite su asentamiento en el fondo del tratador. Consecuentemente, el diseño está en función de la temperatura, del -- tiempo de contacto, de la viscosidad del aceite y de las dimensiones físicas del tratador, ya que todos éstos factores -- determinan la velocidad de asentamiento.

El análisis del laboratorio y la experiencia de campo son las bases para la configuración del tratador a seleccionar, mientras que el propósito de este tema es dar una -- aproximación razonable para el diseño de la sección de coalescencia del tratador, cuando no existan datos de laboratorio.

III.1 Tipos de tratadores.

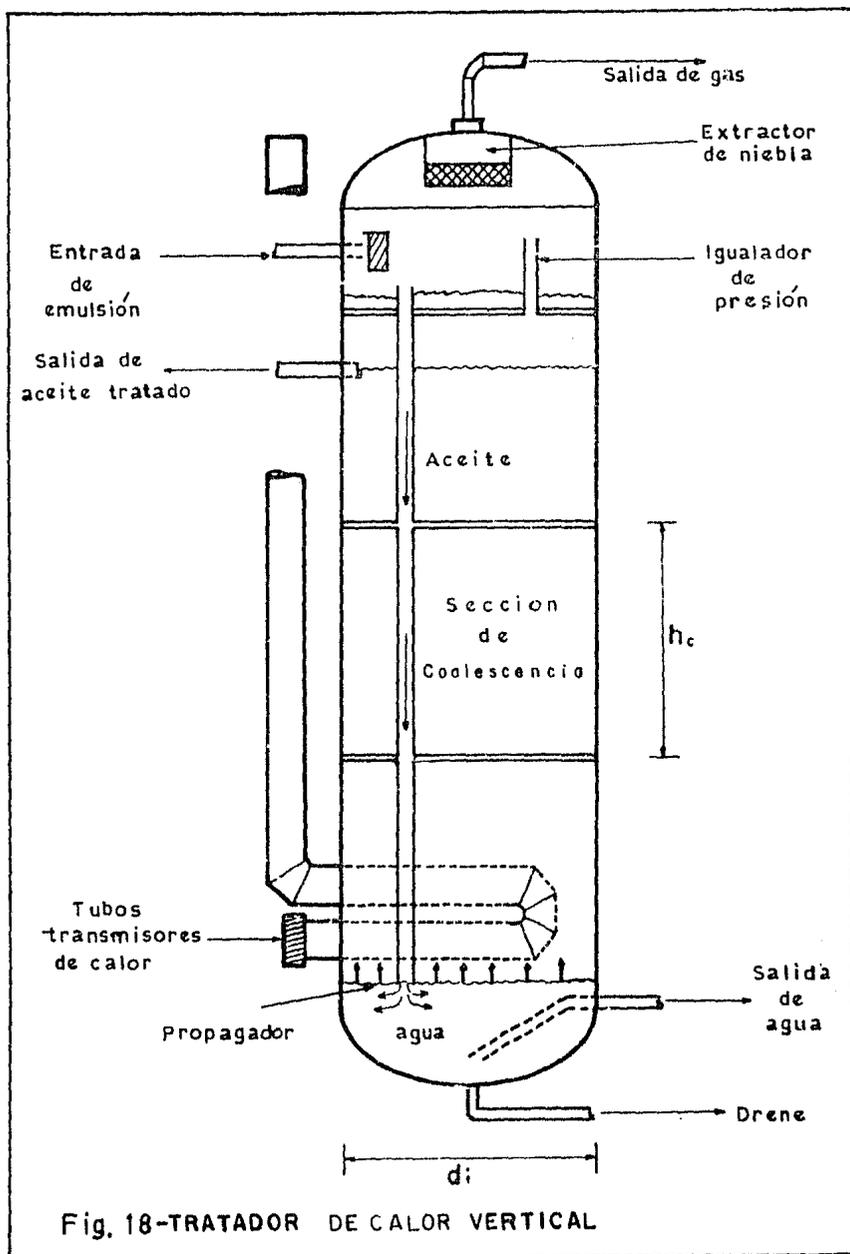
Cualquier tipo de tratador consta de las siguientes secciones:

- Separador de gas.
- Agua libre.
- Coalescencia.
- Recolección de aceite.

A continuación se da una breve descripción del funcionamiento de los tratadores verticales y horizontales.

III.1.1 Tratadores verticales.

En la Fig. 18 se muestra un tratador vertical. Como se puede observar el flujo entra a la vasija y choca con una mampara. El gas se separa y pasa por el extractor de niebla para posteriormente salir, mientras la emulsión fluye hacia el fondo del tratador, ligeramente abajo de la interfase --- aceite-agua, hasta la sección de agua libre. Si la corriente total del pozo es tratada, esta sección debe ser dimensionada para un tiempo de retención de 3 a 5 minutos para el aceite y el agua, permitiéndole que el agua libre se separe y sea posible reducir los requerimientos de calor. Por otra parte,



si el tratador se encuentra corriente abajo de un separador o de un eliminador de agua libre, las secciones de separación de gas y de agua libre deben ser pequeñas.

El aceite y la emulsión fluyen alrededor del serpentín de calor hasta la sección de coalescencia donde se proporciona el suficiente tiempo de retención para que las pequeñas partículas de agua dentro de la fase continua de aceite se unan y se depositen en el fondo. Por último el aceite tratado fluye a la sección de recolección del aceite y posteriormente abandona el tratador, mientras que el gas separado del aceite tratado fluye hacia la sección de gas por una tubería.

El nivel del aceite es regulado por un dispositivo neumático o por una válvula de drene operada por un flotador y la altura de la interfase aceite-agua es regulada por un controlador de interfase o por una pierna de agua externa ajustable.

III.1.2 Tratadores horizontales.

En instalaciones para varios pozos, normalmente se usan tratadores horizontales (Fig. 19), en donde el fluido

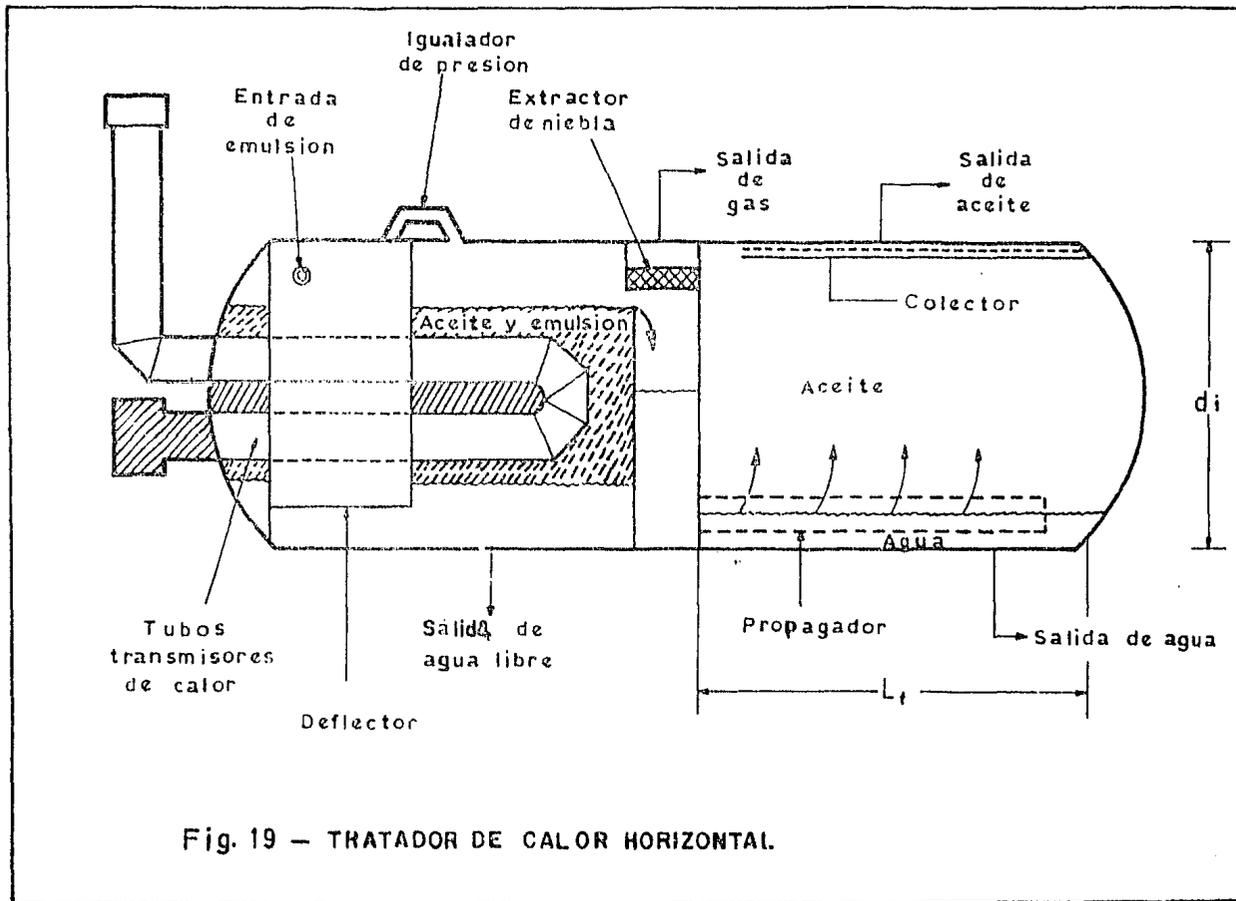


Fig. 19 - TRATADOR DE CALOR HORIZONTAL.

entra a la sección de separación del gas, depositándose el líquido en la interfase aceite-agua y el gas separado en esta sección fluye por el extractor de niebla para su rectificación.

En la sección de agua libre, el agua se asienta en el fondo del tratador y el aceite con la emulsión, fluye hacia la parte superior pasando por un lado del serpentín de calor hasta la altura máxima del vertedero, donde se desborda el fluido en forma de baches, a un depósito. Posteriormente el aceite y la emulsión fluyen a través de un propagador hacia la sección de coalescencia, con lo cual el flujo se redistribuye a lo largo de esta sección, en donde se procura que choquen las partículas de agua y que el aceite tratado sea recolectado en la parte superior por medio de un dispositivo de acumulación, diseñado para mantener un flujo uniforme vertical de aceite, mientras que las partículas de agua coalescidas caen en contracorriente al aceite.

La interfase aceite-agua en la sección de agua libre es regulada por un controlador de nivel de interfase, que opera una válvula de descarga para el agua libre. Por otro lado, el nivel del depósito del aceite y la emulsión es regulado por un control de nivel, que opera a una válvula de descarga en la tubería de salida del aceite, para mantener una

condición de flujo continuo en la sección de coalescencia. Además, la interfase aceite-agua de la sección de coalescencia es regulada por un control de nivel, que opera a una válvula de descarga para el agua libre separada.

La sección de agua libre, debe tener un diseño tal que permita el asentamiento de agua libre y el calentamiento del aceite; mientras que la sección de coalescencia se debe diseñar para proporcionar el tiempo de retención adecuado que permita la unión y asentamiento de las partículas de agua coalescidas.

III.2 Principios básicos de separación y diseño. (9)

a) Asentamiento. Una de las razones por la cual fluye el agua al fondo del tratador, es la diferencia de las densidades relativas entre el aceite y las partículas dispersas de agua. Suponiendo que el régimen de flujo alrededor de la partícula es laminar, para así aplicar la Ley de Stokes, y que la velocidad descendente de la partícula de agua debe ser tal que supere la velocidad ascendente del aceite a través de la sección de coalescencia, se tienen las siguientes ecuaciones de diseño:

Tratadores horizontales:

$$d_i L_f = 438 \frac{q_o \mu_o}{(\gamma_w - \gamma_{ro}) (d_w)^2} \quad (23)$$

Tratadores verticales:

$$d_i = 81.8 \frac{q_o \mu_o}{(\gamma_w - \gamma_{ro}) (d_w)^2} \quad (24)$$

Como se puede observar, en la ecuación de asentamiento para el diseño de tratadores verticales no interviene la altura de la sección de coalescencia.

b) Tiempo de retención. El aceite se debe -- mantener a una cierta temperatura durante un período de tiempo para romper la emulsión; éste tiempo se determina en laboratorio; pero en ausencia de tal información, se pueden to-- mar de 20 a 30 minutos. Las ecuaciones para el dimensiona--- miento, considerando el tiempo de retención, son las siguientes:

Tratadores horizontales:

$$(d_i)^2 (L_f) = \frac{t_r q_o}{1.05} \quad (25)$$

Tratadores verticales:

$$(d_i)^2 (h_c) = \frac{t_r q_o}{0.12} \quad (26)$$

c) Efectos de la temperatura. El método tradicional para la separación de las fases de aceite y agua es agregar calor a la emulsión, el cual reduce la viscosidad -- del aceite permitiendo una velocidad de asentamiento más rápido, de acuerdo con las ecuaciones 23 y 24.

El método más confiable para determinar los efectos del calor sobre el aceite, es realizar pruebas de laboratorio a un aceite en particular a varias temperaturas.

En ausencia de datos de laboratorio, existen correlaciones con las que conociendo la densidad del aceite y la -- temperatura a la que se encuentra, se obtiene su viscosidad; una de estas correlaciones fue desarrollada por Beggs y ---- Robinson, (10) quienes hicieron pruebas a 460 muestras de --- aceite y la ecuación que obtuvieron es:

$$\mu_o = 10^X - 1 \quad (27)$$

Donde:

$$X = Y T^{-1.163} \quad (28)$$

$$Y = 10^Z \quad (29)$$

$$Z = 3.0324 - 0.02023 \frac{Y}{O} \quad (30)$$

Esta ecuación se utiliza para aceites que varían de -16 a 58° API y temperaturas de 70 a 259° F.

El aumento de calor causa una pérdida importante de hidrocarburos ligeros, con el consecuente encogimiento del aceite, y se tiene la desventaja de hacer el aceite crudo -- más pesado y así disminuir su valor. Por otro lado, las moléculas que dejan la fase de aceite, pueden ser venteadas o -- comprimidas y vendidas con el gas, con lo cual se tiene también una pérdida en los ingresos netos por la conversión de un volumen de líquido a un volumen de gas.

El incremento de la temperatura de tratamiento, disminuye la densidad relativa del aceite y del agua separada. Sin embargo, dependiendo de las propiedades del crudo, puede aumentar o disminuir la diferencia entre las densidades relativas.

d) Requerimientos de calor para el tratamiento. El calor requerido y la cantidad de combustible empleado para el tratamiento, dependen del ascenso de la temperatura, de la cantidad de agua en el aceite y del gasto que se maneje. Como se necesita casi el doble de energía para calentar el agua que para el aceite, es económico separar con anterioridad el agua libre de la emulsión a tratar, mediante un eliminador de agua libre instalado corriente arriba del tratador o bien eliminándola en la sección de agua libre en el mismo tratador. Con esto se disminuye el calor de tratamiento, la cantidad de combustible y por consiguiente los costos de operación.

Suponiendo que el agua es separada hasta menos del 10% en volumen de la emulsión y que el tratador está aislado térmicamente para minimizar las pérdidas de calor, la energía calorífica requerida para el tratamiento, se determina utilizando la siguientes ecuación:

$$Q = 16 q_o \Delta T (0.5 \gamma_{ro} + 0.1) \quad (31)$$

e) Tamaño de la partícula de agua. El último parámetro por determinar antes de desarrollar el procedimiento de diseño, es el tamaño de la partícula de agua, el cual se utiliza en la ecuación de asentamiento. Cualitativamente,

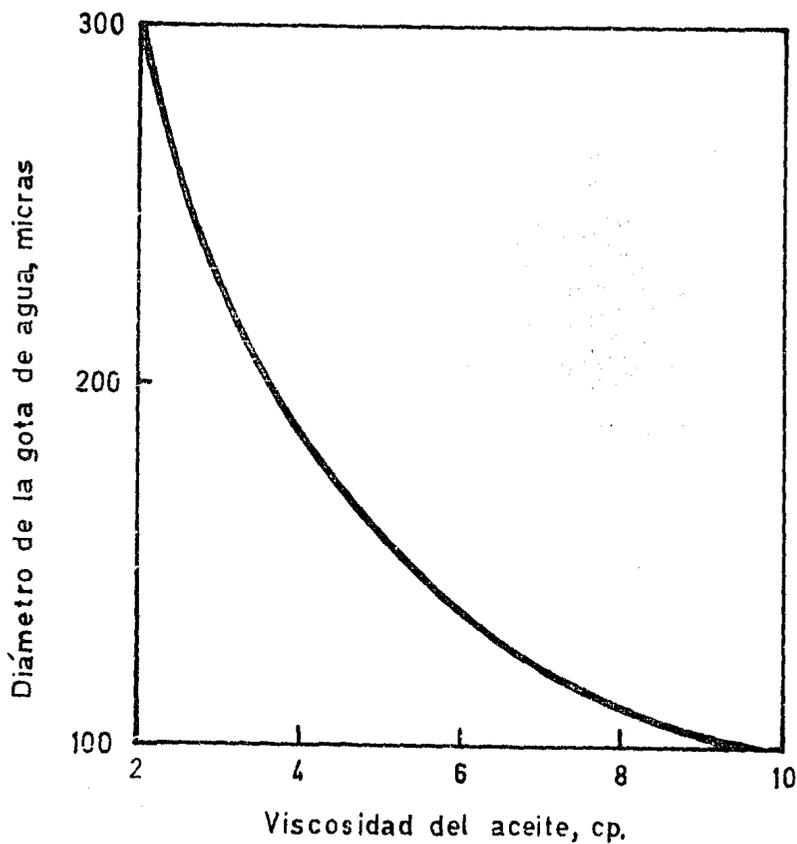


Fig. 20 - GRAFICA DE VISCOSIDAD DEL ACEITE
CONTRA EL DIAMETRO DE LA GOTA
POR SEPARAR.

el tamaño de una partícula se incrementa con el tiempo de -- retención y con la energía calorífica, la cual excita el sis tema y multiplica la coalescencia entre las pequeñas partí- culas. La viscosidad del aceite, inhibe el movimiento de la- partícula y el tamaño de ésta disminuye lo mismo que la fuer- za de coalescencia.

Si se incrementa el tiempo de retención, después de un período inicial en el tratamiento, se nota que la tenden- cia de crecimiento de la partícula es mínima, por lo que pa- ra tratadores con tiempo de retención de 10 a 60 minutos, -- ésta no es una variable determinante.

La viscosidad esperada tiene mucho mayor efecto so- bre la coalescencia que la temperatura y teniendo ésto pre- sente, se puede tener resultados razonables con la siguiente ecuación:

$$d_w = 500 (\mu_o)^{-0.675} \quad (32)$$

Esta ecuación se muestra gráficamente en la Fig. 20, pero debe hacerse hincapié que ésta figura solo debe ser usa da en ausencia de otros datos, ya que es una relación basada en experiencia de campo.

III.3 Procedimiento para dimensionar tratadores de calor.

Para diseñar un tratador, es necesario obtener el -- diámetro, la longitud o la altura de la sección de coalescencia y la temperatura de tratamiento. Como ya se dijo, éstas variables dependen entre sí y no es posible llegar a una solución única para cada una. Por tal motivo, el ingeniero de producción debe equilibrar el incremento del costo con el -- tamaño de la unidad, contra el ahorro que se obtiene al utilizar menores temperaturas de tratamiento.

Las ecuaciones presentadas proporcionan las herra--- mientas para obtener soluciones, sin embargo, debido a la -- naturaleza empírica de algunas de las suposiciones fundamentales, también se debe utilizar el criterio del ingeniero.

Horizontales y Verticales.

- 1) Suponer una temperatura de tratamiento (mayor -- que la temperatura de entrada del fluido).
- 2) Calcular la viscosidad del aceite con la ecua--- ción 27.

- 3) Obtener el diámetro de la gota de agua que debe ser tratada, con la ecuación 32 o de la figura-20.
- 4) Determinar la geometría de la vasija con la --- ecuación 23 o 24.
- 5) Tabular los valores de T , \mathcal{M}_o , d_w y $d_i L_f$.
- 6) Graficar d_i contra L_f . (suponer diferentes diámetros en la ecuación 23).
- 7) Determinar el calor requerido con la ecuación -31.
- 8) Suponer otra temperatura y repetir los pasos -- del 2 al 7.
- 9) Calcular la geometría de la vasija con la ecuación 25 o 26, suponiendo un tiempo de retención de 20 min.
- 10) Graficar L_f vs d_i o h_c vs d_i .
- 11) Seleccionar la vasija con un diámetro y longitud que no este en el área de $t_r < 20$ minutos. - Además, que el equipo seleccionado sea económico en cuanto a las condiciones de calor requeridas.

CAPITULO IV

EQUIPO PARA TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

Dentro de las operaciones de producción, se tiene el manejo de agua residual, la cual consiste en agua producida con aceite, agua de precipitación pluvial, agua tratada y -- agua de servicios generales en plataforma. La calidad del -- agua residual varía de acuerdo a la eficiencia de separación del equipo de producción, del tipo de aceite manejado y de las técnicas adoptadas para eliminarla.

Tanto en áreas marinas como terrestres, una vez que el agua residual sale del eliminador de agua, del tratador de calor o del separador trifásico, ésta deberá ser tratada para disminuir el contenido de hidrocarburos, procurando no alterar el medio ambiente al descargarla.

IV.1 Generalidades del equipo de tratamiento.

El principal objetivo de este capítulo, es el presentar los procedimientos de diseño de algunos equipos para disminuir el contenido de aceite del agua residual; las cuales son producidas en la Industria Petrolera, junto con esto, -- algunas reglas obtenidas con la experiencia de campo, para ser aplicadas en el diseño aquí descrito.

Existen en el mercado diferentes equipos para el tratamiento de aguas residuales, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- a) Tanques y vasijas para desnatado (API).
- b) Unidades de placas coalescedoras.
- c) Unidades de flotación.
- d) Separadores utilizados en plataformas marinas.

Los equipos para el tratamiento de aguas de deshecho, aprovechan como principio elemental de separación la fuerza de gravedad, con excepción de las unidades de flotación, que se basan en la inyección de aire en el seno del fluido mediante ciertos mecanismos ó dispositivos. En los equipos que utilizan el principio de separación por gravedad, si son bien operados, el agua tratada tendrá la misma calidad, que se tiene en los otros dispositivos.

Para cumplir con la Legislación vigente sobre Contaminación Ambiental, se requiere que el agua residual tenga un tratamiento primario antes de ser descargada al medio ambiente, mediante algún tipo de tanques o vasijas API o alguna de las unidades de placas coalescedoras y dependiendo del grado de dificultad para eliminar el aceite del agua producida, será necesario un tratamiento secundario donde se podrá utilizar, alguna unidad de flotación o alguna de las unidades de placas coalescedoras, que no fue utilizada en el tratamiento primario.

Una vez que al agua residual se le da el tratamiento, procurando que exista menos contaminación al descargarla, al medio ambiente, se recomienda, en zonas terrestres, inyectarla a un yacimiento, aprovechándola para una recuperación secundaria, siempre y cuando el agua residual sea compatible con el agua del acuífero; otra solución sería inyectarla al subsuelo sin que se afecte a acuíferos o yacimientos cercanos; en caso de no hacer lo anterior, se mandará a una presa de deshecho para su evaporación. En zonas marinas hay un tratamiento igual que el de las áreas terrestres, pero se descarga el agua residual en alguna de las unidades de separación para su uso en plataformas marinas.

El diseño de un sistema de este tipo requiere cono--

cer de manera precisa, las propiedades del aceite y del agua de deshecho, ya que muchas veces estas propiedades son mal estimadas con lo que se ocasionan errores al momento de realizar el diseño. Pero en caso de no conocerlas, se puede tomar las suposiciones dentro de los rangos que aquí se presentan, ya que estos han sido obtenidos por la experiencia de campo.

El proceso de diseño se presenta como una serie de pasos, que comienza con la caracterización de la entrada de agua y termina con el dimensionamiento del equipo.

Para la selección adecuada del equipo, el Ingeniero de Producción, debe tomar en cuenta las limitaciones de espacio, topografía del terreno, costos, etc.

El objetivo final que está implícito en todo sistema de agua residual, es obtener un efluente de óptima calidad al más bajo costo.

IV.2 Principios básicos de separación.

La función de todo el equipo de tratamiento es que las partículas de aceite, existentes en la fase continua de-

agua, floten en la superficie debido a la diferencia de densidades. Estas partículas están sujetas en su trayectoria -- por todo el sistema de producción (a través de los estranguladores superficiales, líneas de descarga, válvulas de control y dentro del equipo de proceso) a una dispersión y coalescencia continua, debido principalmente a la velocidad de flujo.

IV.2.1 Separación por gravedad.

El equipo de tratamiento de agua basa su principio de operación en la gravedad, para la separación de las partículas de aceite de la fase continua de agua, puesto que la densidad del volumen de agua es mayor que la densidad del volumen de aceite que desplaza, o sea, en la partícula de aceite se ejerce una fuerza de flotación que es opuesta a la fuerza de fricción, causada por su movimiento vertical ascendente de ésta. Cuando se igualan estas dos fuerzas, se alcanza una velocidad constante, que es calculada por la Ley de Stokes: (*)

$$V_o = 1.78 \times 10^{-6} (\gamma_w - \gamma_{ro}) \frac{(d_o)^2}{\mu_w} \quad (33)$$

(*) Consultar apéndice A.

De ésta ecuación se pueden obtener varias conclusiones para facilitar el tratamiento de agua:

- a) La velocidad vertical es directamente proporcional al cuadrado del diámetro de la gota de aceite, por lo que al aumentar el tamaño de ésta, se necesita un menor tiempo de retención para elevarla a la superficie de recolección.
- b) La velocidad vertical, depende de la diferencia de densidades, de la fase continua de agua y de la gota de aceite, por lo tanto, será más fácil el tratamiento al ser menor la densidad del aceite.
- c) La velocidad vertical es inversamente proporcional a la viscosidad del agua y ésta a su vez, a la temperatura de operación, con lo que se concluye, que el tratamiento es más fácil al aumentar la temperatura.

IV.2.2 Dispersión.

La dispersión de gotas de aceite ocurre cuando se crea la suficiente inestabilidad en ellas, por medio de la energía cinética; al mismo tiempo que se presenta este proce

so, el movimiento de las partículas de aceite provocará la coalescencia. Por lo tanto, es posible definir estadísticamente un diámetro máximo de gota para una energía dada por unidad de masa y tiempo, en la cual son iguales las dos tendencias a la coalescencia y a la dispersión.

El diámetro máximo de la partícula que está en equilibrio puede ser estimado utilizando la relación propuesta por Hinze (11):

$$d_{\max} = 432 \left(\frac{t_r}{\Delta P} \right)^{2/5} \left(\frac{\sigma}{T_w} \right)^{3/5} \quad (34)$$

Se puede notar de la ecuación anterior que teniendo mayor caída de presión, se tendrán gotas de aceite de menor diámetro.

Teóricamente, el proceso de dispersión no es instantáneo, sin embargo, de la experiencia de campo se ha observado que es muy rápido. Para propósito de diseño, se supone -- que cuando se tienen grandes caídas de presión, todas las -- gotas mayores que el diámetro máximo se dispersarán instantáneamente.

IV.2.3 Coalescencia.

El proceso de coalescencia en los sistemas de tratamiento de agua depende más del tiempo, que en el proceso de dispersión. En la dispersión de dos líquidos inmiscibles, pocas veces ocurre una coalescencia inmediata cuando chocan dos gotas; si el par de gotas está expuesto a las variaciones turbulentas de presión y la energía cinética inducida en el par de gotas coalescidas es mayor que la fuerza de adhesión entre ellas, se romperá el contacto antes de que se complete la coalescencia.

IV.3. Equipo de tratamiento.

IV.3.1. Tanques o vasijas para desnatado.

La forma más sencilla de un equipo para el tratamiento primario de agua residual, es una vasija o un tanque para desnatado, los cuales son tanques atmosféricos o vasijas a presión, que están diseñados para proporcionar grandes tiempos de retención, durante el cual se presentan la coalescencia y la separación por gravedad. Los desnatadores tienen configuración vertical y horizontal; en el primero, las gotas de aceite suben a contra flujo descendente del agua y algunos tienen propagadores en la entrada y colectores en la salida para mantener una distribución de flujo, como se mues

tra en la Fig. 21.

El flujo entra a la vasija, golpea una mampara y fluye por un conducto, donde se separan pequeñas cantidades de gas; el conducto dirige al flujo (a través de una capa de -- aceite) hasta un sistema de propagación, donde el agua se -- separa y desciende a una velocidad constante por el área de la sección transversal de la vasija.

Entre el propagador y la sección de recolección de agua no existe turbulencia, por lo que se presenta algo de coalescencia y la flotación de las gotas de aceite causará que ellas suban a contracorriente del flujo de agua, hasta la sección de recolección de aceite, desbordándose al vertedero y por último abandona la vasija.

El espesor de la capa de aceite depende de la altura entre el vertedero del aceite y de la pierna de agua, además de la diferencia en la densidad relativa de los dos líquidos. Frecuentemente se utiliza un control de nivel de interfase en lugar de la pierna de agua.

Se recomienda el uso de los desnatadores verticales cuando;

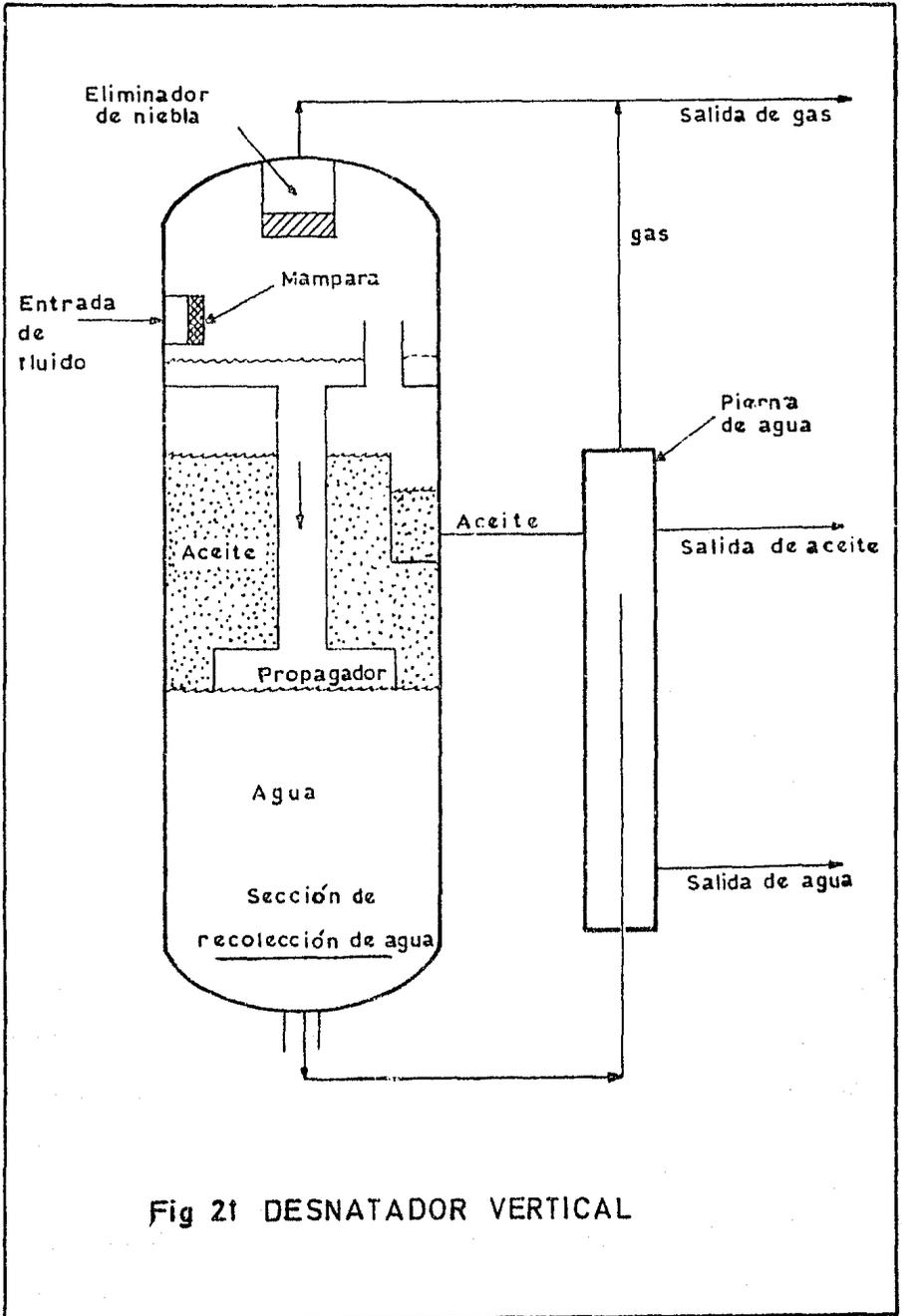


Fig 21 DESNATADOR VERTICAL

- a) Se manejen arena o sólidos, para desalojarlos - mediante la instalación de la salida de agua - o de drenes de arena en el fondo de la vasija, ya que la experiencia de campo indica que los drenes de arena en el fondo de las vasijas horizontales, no son eficientes.
- b) Se esperan baches de líquidos. Las vasijas ver ticales son menos susceptibles a los cierres - por alto nivel provocados por los baches de lí quidos, porque en las vasijas horizontales --- cuando se tienen agitaciones en la superficie - del líquido debido a los baches, se puede im- pulsar un flotador de nivel, aunque el volumen de líquido entre el nivel de operación normal - y el del nivel para que ocurra el cierre, sea - igual o mayor que en las verticales.

En los desnatadores horizontales, como se muestra en la Fig. 22 el flujo entra a la vasija, golpea a la mampara y fluye por un conducto, (permitiendo que se libere gas), diri giéndolo por abajo de la capa de aceite, donde se distribuye horizontalmente por la mayor parte de la longitud de la vasi ja; en esta sección se presenta la coalescencia de las gotas de aceite y fluyen en forma perpendicular al flujo de agua, - hasta la sección de recolección de aceite, donde se desborda

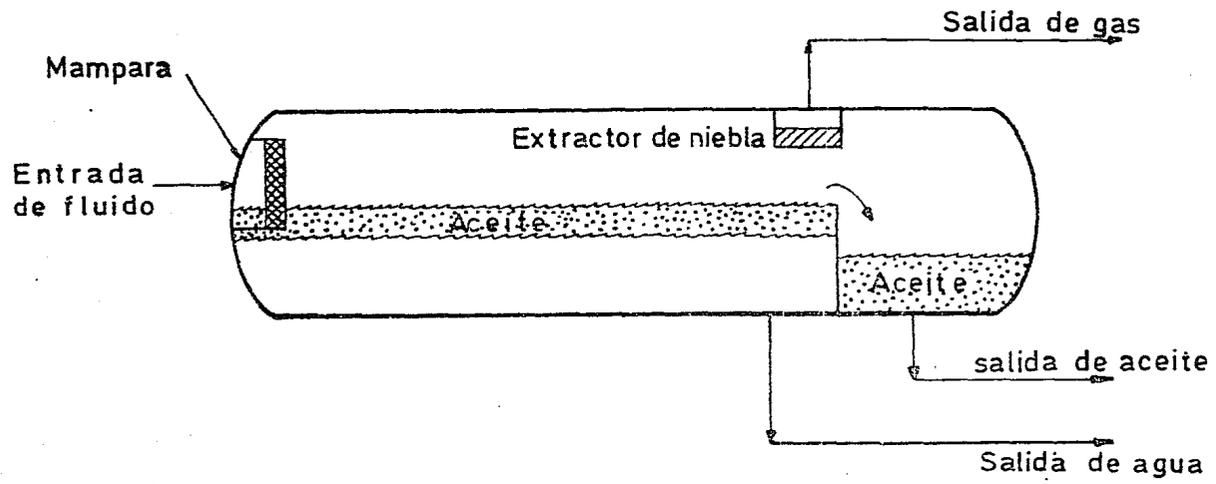
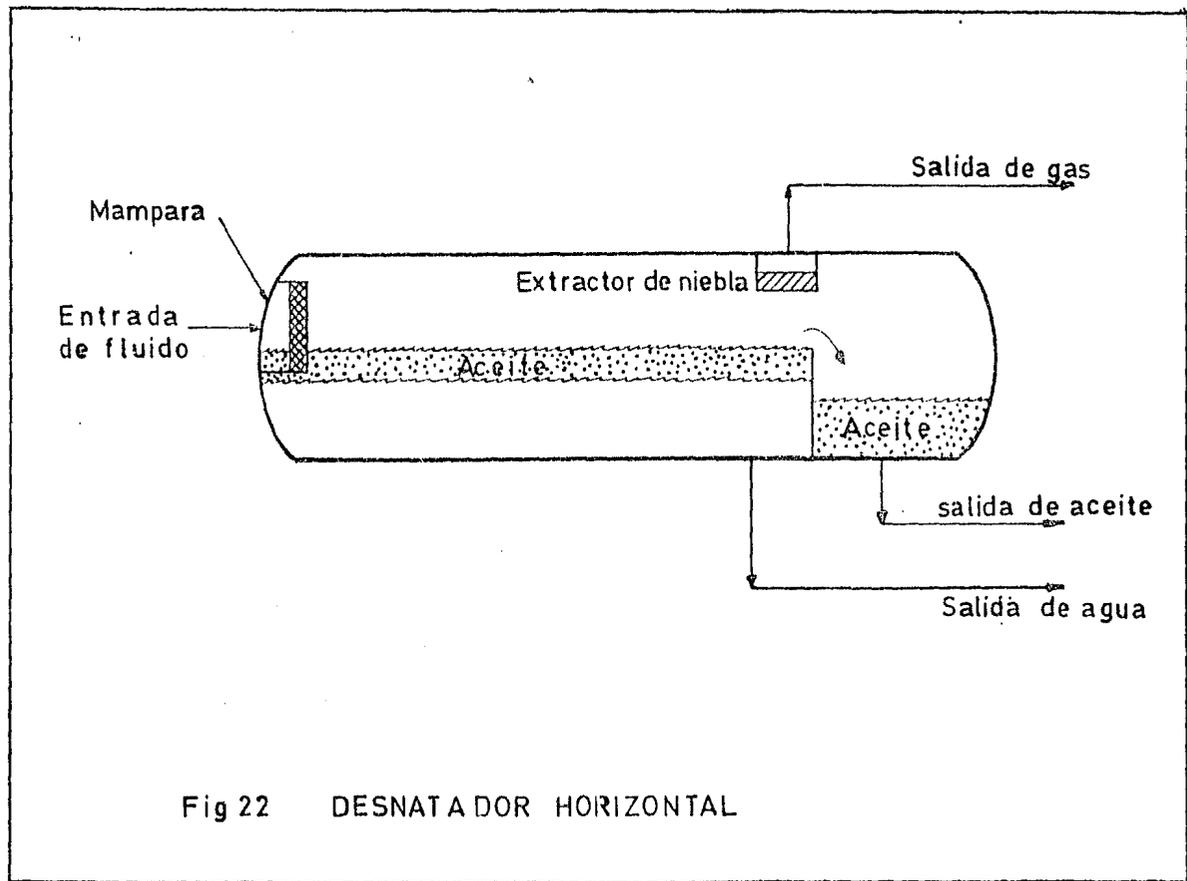


Fig 22 DESNTADOR HORIZONTAL



a un depósito de aceite, para posteriormente salir de la vasija.

La altura de la capa de aceite y de la espuma que se presenta, está regulada por un controlador de interfase o -- por un vertedero.

Las vasijas horizontales son más eficientes debido a que las partículas de aceite no fluyen a contraflujo del --- agua.

Para determinar si se utiliza una vasija a presión o una a condiciones atmosféricas para el tanque de desnatamiento, no se consideran exclusivamente los requerimientos del - tratamiento de agua, sino las necesidades generales del sistema. Ciertamente, las vasijas a presión son más costosas, - sin embargo se recomiendan cuando:

- a) El efecto por excesiva condensación del gas - corriente arriba de la descarga de la vasija - del sistema, genere mucha contrapresión en un sistema de venteo a la atmósfera.
- b) El agua sea descargada a un nivel mayor para - tratamientos adicionales; que para tal caso, - si se utiliza una vasija a la atmósfera se ne-

cesitaría una bomba.

Sin embargo, se debe tomar una decisión en base a un análisis económico de cada unidad.

Se debe proporcionar un tiempo de retención de 10 a 30 minutos para asegurar que se presente algo de coalescencia y disminuir la agitación provocada por los baches de fluido. Como anteriormente se vió, probablemente no sea costeable proporcionar un mayor tiempo de retención, pues los desnatadores con grandes tiempos de retención requieren mecanismos para distribuir el flujo y eliminar el corto-circuito, y los estudios realizados han demostrado que los tanques para desnatado que tienen propagadores y desviadores de flujo, presentan un mal comportamiento de flujo y cortos circuitos; probablemente debido a la diferencia de densidades, temperaturas, a la depositación de sólidos, a la corrosión de los propagadores, etc.

IV.3.2 Ecuaciones para el diseño del equipo-desnatador (12).

Estos equipos son diseñados para proporcionar una buena separación de aceite y agua aprovechando la diferencia

en la densidad relativa que existe entre ambos; además, su buen funcionamiento depende de la velocidad de flujo, del tiempo de retención y de la temperatura. Como desventaja, cabe señalar que no pueden separar sólidos disueltos ni romper emulsiones estables.

a) Vasija cilíndrica horizontal.

Para determinar el diámetro y la longitud de un cilindro horizontal operando a la mitad de su diámetro interior, se aplica la Ley de Stokes en la siguiente forma:

$$d_i L_e = \frac{100 q_{wr} \mu_w}{(\rho_w - \rho_o) (d_o)^2} \quad (35)$$

Esta ecuación supone un factor de turbulencia y de corto-circuito de 2. Cualquier combinación de L_e y d_i que cumplan con la ecuación 35 será suficiente para permitir la separación de partículas de aceite de un diámetro d_o o mayor. Sin embargo, se seleccionarán aquellas combinaciones que satisfagan la siguiente ecuación del tiempo de retención:

$$(d_i)^2 L_e = 1.4 t_r q_{wr} \quad (36)$$

La selección correcta del diámetro y longitud se obtendrá al graficar d_i y L_e de las ecuaciones 35 y 36.

- b) Tanque horizontal de sección transversal rectangular.

Similarmente, para determinar el ancho y la longitud de un tanque horizontal de sección transversal rectangular, se utiliza la Ley de Stokes, con la siguiente expresión:

$$WL_e = \frac{7G q_{WR} \mu_w}{(\gamma_w - \gamma_{ro}) (d_o)^2} \quad (37)$$

La altura del flujo de agua es $0.5W$ y del tiempo de retención se tiene:

$$W^2 L_e = 0.008 t_r q_{WR} \quad (38)$$

Se seleccionará la combinación de W y L_e que satisfaga gráficamente a las ecuaciones anteriores.

- c) Tanque vertical cilíndrico.

Para determinar el diámetro de una unidad de este tipo, se utiliza la siguiente ecuación:

$$(d_i)^2 = 7000 \frac{F q_{WR} \mu_w}{(\gamma_w - \gamma_{ro}) (d_o)^2} \quad (39)$$

F es un factor que considera la turbulencia y el corto-circuito; para vasijas de pequeño diámetro ($d_i < 48$ pg) -- $F=1.0$; para vasijas de diámetro mayor, F depende del diseño de la entrada y la salida de los colectores y de los desviadores de flujo que tenga la vasija; para tanques con diámetro de 10 pies o mayores, se considera $F=2.0$; sin embargo, no se consideran los tanques mayores a 10 pies debido a que se presenta el corto circuito (15).

La altura de la columna de agua se determina con la siguiente ecuación:

$$H_{cw} = 0.7 \frac{t_r q_{wr}}{(d_i)^2} \quad (40)$$

La eficiencia de operación de los equipos anteriores, a un gasto dado, depende de la temperatura del agua, la densidad y el tamaño de las partículas de aceite, así como de la cantidad y características de la materia en suspensión -- presente en el afluente.

IV.3.3 Unidades de placas coalescedoras.

Existen varias configuraciones de placas coalescedoras entre las que se encuentran, el interceptor de placas --

paralelas (IPP), los interceptores de placas corrugadas ---- (IPC) y los separadores de flujo cruzado. Estos basan su separación en la gravedad, permitiendo así la elevación de las gotas de aceite sobre las superficies de las placas donde se presenta la captura y coalescencia. Como se observa en la -- Fig. 23, el flujo se divide entre el número de placas paralelas, espaciadas a una corta distancia y están inclinadas para facilitar la captura de las gotas de aceite. La Ley de Stokes se utilizará para las partículas de aceite que oscilen entre 1 y 10 micras de diámetro, pero la experiencia de campo indica que el diámetro mínimo es de 30 micras, puesto que abajo de éste valor, se dificulta la elevación de las gotas de --- aceite a la superficie de la sección de recolección, debido a pequeñas variaciones de presión, vibraciones de la plata-- forma, etc.

a) Interceptores de placas paralelas.

El primer diseño sobre placas coalescedoras fue el - interceptor de placas paralelas (IPP), el cual contenía la - instalación de una serie de placas paralelas al eje longitudinal de una vasija API, con lo que ayudaba a que el aceite fluyera hacia la parte superior del paquete de placas y asimismo, los sedimentos se acumularan en el fondo, donde se -- drenaban.

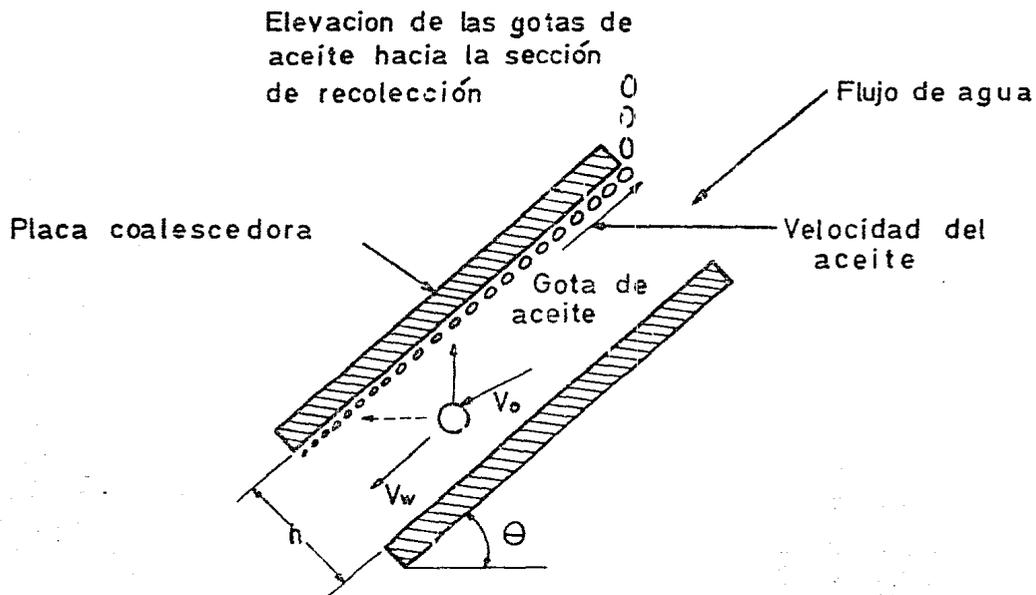


Fig. 23 - ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LAS PLACAS COALESCEDORAS

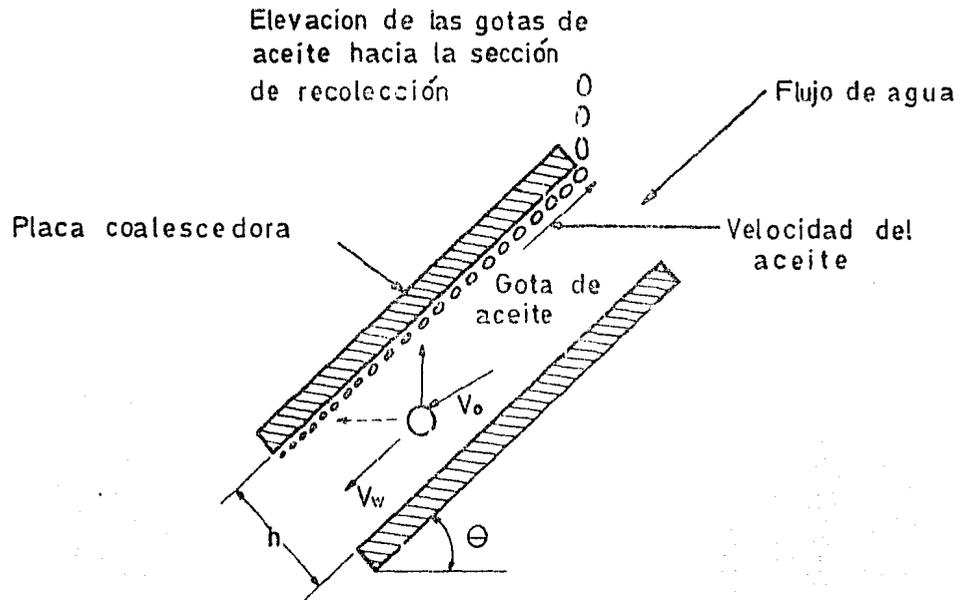


Fig. 23 - ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LAS PLACAS COALESCEDORAS

b) Interceptor de placas corrugadas.

De los interceptores de placas paralelas, los más -- comunes en plataformas marinas son los interceptores de placas corrugadas (IPC), que se muestran en la Fig. 24, debido a que ocupan menos espacio para eliminar el mismo tamaño de partícula que el IPP y la separación de sólidos es más eficiente.

La unidad de placas corrugadas se fabrica de láminas paralelas de fibra de vidrio, espaciadas aproximadamente -- $3/4"$ teniendo un tamaño de $69" \times 42" \times 39"$ y proporcionan -- unos 550 pies^2 de área (en proyección horizontal). Las placas paralelas están corrugadas (como las láminas para techar) y tienen el eje de las ondulaciones paralelo a la dirección de flujo, estas láminas forman un paquete que se instala con una inclinación de 45° con respecto a la horizontal, donde el flujo de agua se obliga a descender, mientras que el aceite se eleva a contraflujo del agua, concentrándose en la parte superior de cada ondulación. Cuando el aceite alcanza el extremo del paquete de placas, se recolecta en un canal y es llevado a la interfase aceite-agua.

En lugares donde se anticipe la producción de arena y sedimentos, éstos se deben separar antes de que el flujo --

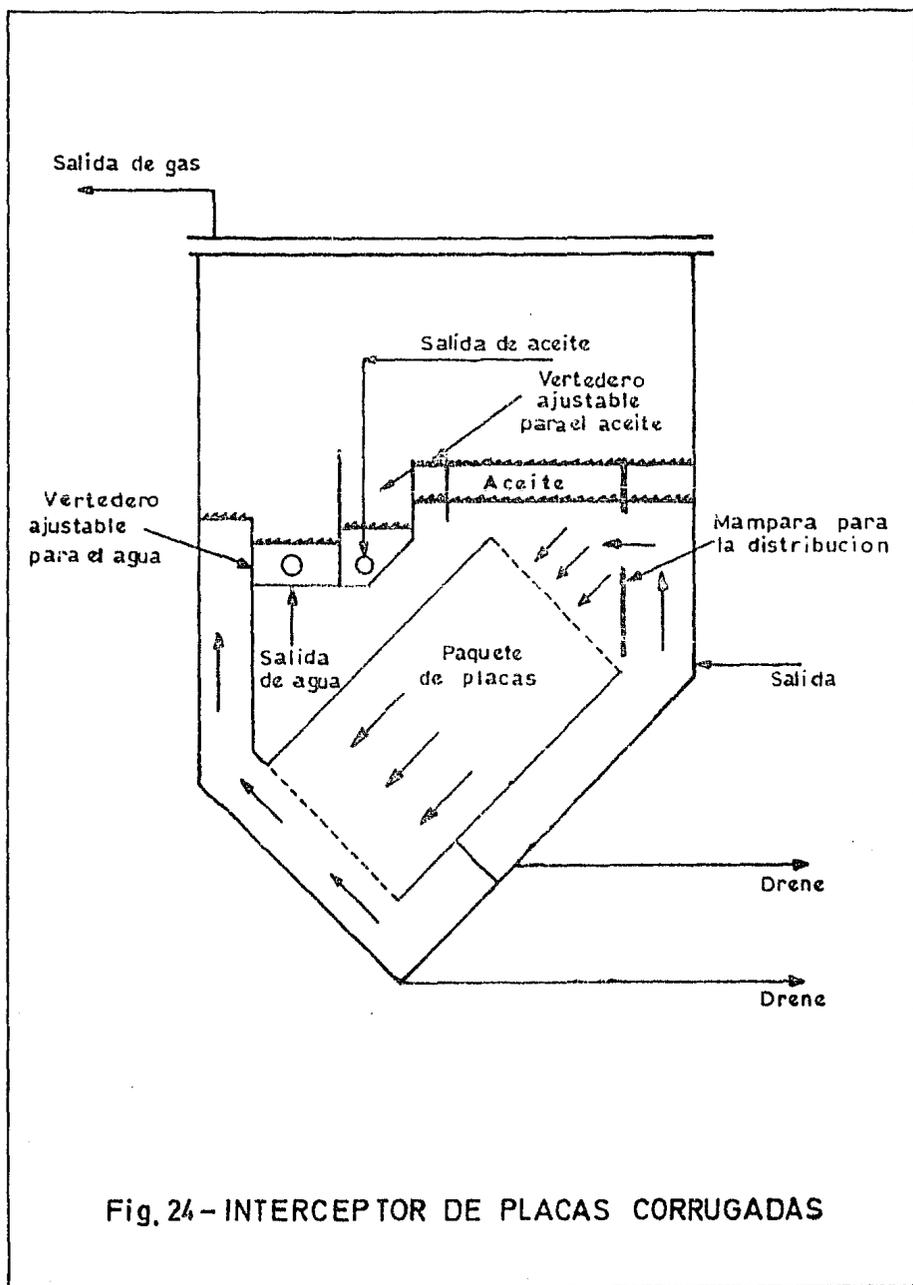


Fig. 24 - INTERCEPTOR DE PLACAS CORRUGADAS

pase a un IPC; no obstante que éstos son mecanismos eficientes para el asentamiento de arena dentro de flujo laminar, - la experiencia ha mostrado que la arena mojada por aceite, - se adhiere a cualquier superficie inclinada a 45° y por consiguiente, es posible que se obturen las placas; además, los canales recolectores de arena instalados en el extremo de -- paquete de placas, provocan turbulencia que afecta el tratamiento y ellos mismos están sujetos al taponamiento de arena.

c) Dispositivos de flujo cruzado.

Los diferentes fabricantes de equipo, modificaron la configuración de los IPC, para tener un flujo horizontal de agua, perpendicular al eje de las ondulaciones de las placas, con lo que se permite que la inclinación de las placas tengan una pendiente muy pronunciada, facilitando la eliminación de sedimentos y permitiendo que el paquete de placas -- este más compacto dentro de una vasija a presión; esta ventaja trae problemas de operación en los tanques atmosféricos - si se presenta gas por excesiva evaporización del aceite a través de una válvula corriente arriba del tanque.

Los separadores de flujo cruzado se han fabricado en vasijas horizontales o verticales a presión. Los horizontales necesitan menos placas de desviación para el flujo en su

interior, ya que los extremos de casi todas las placas conducen el aceite directamente a la interfase aceite-agua y a los sedimentos, a una zona abajo del área de flujo del agua. Las unidades verticales son más eficientes en la eliminación de arena, pero requieren canales de recolección para que por un lado, suba el aceite a la interfase aceite-agua y por otro se deposite la arena en el fondo.

Los dispositivos de flujo cruzado son más costosos que los IPC y menos eficientes para la separación del aceite, (aunque algunos fabricantes afirman lo contrario), pero se deben considerar cuando se usen vasijas a presión o cuando se esperen sedimentos que afecten a la vasija.

IV.3.4 Dimensionamiento de las unidades coalescedoras.

La ecuación general para los coalescedores de placas con flujo paralelo o perpendicular a la dirección del flujo de agua es la siguiente:

$$H_P W_P L_P = \frac{4.7 q_{wr} h_p \mu_w}{\cos \theta (d_o)^2 (\gamma_w - \gamma_{ro})} \quad (41)$$

Experimentos basados en el radio hidráulico como dimensión característica, indican que el número de Reynolds -- para el régimen de flujo no debe ser mayor a 400, con lo que la combinación mínima de altura y ancho de la sección de placas para un gasto de agua dado, Q_w , puede ser calculado con la siguiente expresión:

$$H_p W_p = 6.4 \times 10^{-4} q_{wr} h_p \quad (42)$$

IV.3.5 Número de paquetes de placas.

Los paquetes de placas deben cumplir con las normas de tamaño establecidas: $H_p = 3.25$ pies, $W_p = 3.25$ pies, $L_p = 5.75$ pies, $h_p = 0.69$ pg. y $\theta = 45^\circ$.

El tamaño del IPC se determina en base al número de paquetes de placas instalados, el cual puede ser calculado con la siguiente ecuación:

$$N^2 \text{ de paquetes} = 0.076 \frac{q_{wr} \mu_w}{(\gamma_w - \gamma_{ro}) (d_o)^2} \quad (43)$$

Para asegurar que está dentro de los límites del N_{Re} es necesario que el gasto a través de cada paquete no sea --

mayor a 20,000 bl/día.

Para disminuir el problema de obturamiento por sólidos en los IPC, se especifica un ángulo de 60° , con lo que se requiere un 40% de incremento en el número de paquetes, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{ de paquetes} = 0.11 \frac{q_{WT} W}{(\gamma_{ro}' - \gamma_{ro}') (d_o)^2} \quad (44)$$

IV.3.6 Dimensionamiento del equipo de flujo-cruzado.

Para su diseño se emplean las mismas ecuaciones que para las placas coalescedoras, pero como necesitan propagadores y colectores para distribuir uniformemente el flujo de agua a través de las placas, se sugiere que en la ecuación 41 se incluya una eficiencia del propagador del 75%:

$$H_P W_P L_P = 6.4 \frac{q_{wr} h_P W}{\cos \theta (d_o)^2 (\gamma_w' - \gamma_{ro}')} \quad (45)$$

Los fabricantes de las placas coalescedoras han intentado elevar la eficiencia de separación, con objeto de -- eliminar partículas más pequeñas, disminuyendo la distancia-

de ascenso de las gotas de aceite en la sección de coalescencia o cerrando la separación de colocación de las placas, -- con lo que conduce a tener placas con muy poco espaciamiento que pueden ser fácilmente obturadas con parafinas o sólidos.

VI.3.7 Unidades de flotación⁽¹⁴⁾.

Estas unidades no utilizan el efecto de la gravedad para hacer la separación de las gotas de aceite, lo que hacen es tomar una porción del efluente o la corriente total del agua de deshecho y la saturan con gas. Dentro de las unidades de flotación se tienen las siguientes:

a) Unidades de gas disuelto.

Utilizan un proceso convencional, en el cual se generan burbujas de gas para la flotación, disolviendo primeramente gas a presión en el agua residual con la ayuda de un "contactor", y posteriormente dejando descender la presión de tal forma que el gas abandone la solución en forma de diminutas burbujas. Estas burbujas hacen flotar aceite y/o sólidos a la superficie del agua de deshecho en la cámara de flotación, en donde son desnatados, como se muestra en la Fig. 25.

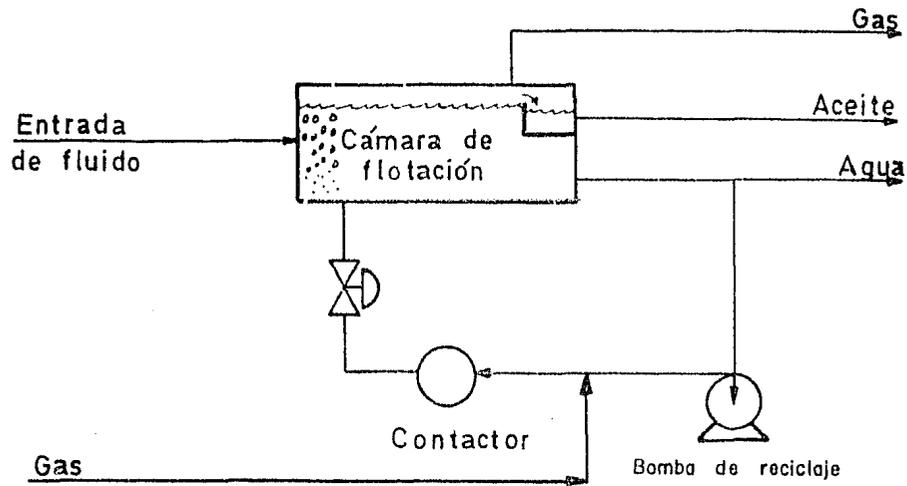


Fig 25 UNIDAD DE FLOTACION CON GAS DISUELTO

Al aumentar la presión, se disolverá más gas en el agua, aunque la mayoría de las unidades están diseñadas para presiones de inyección de gas de 20 a 40 lb/pg² y normalmente, del 20 al 50% se recircula.

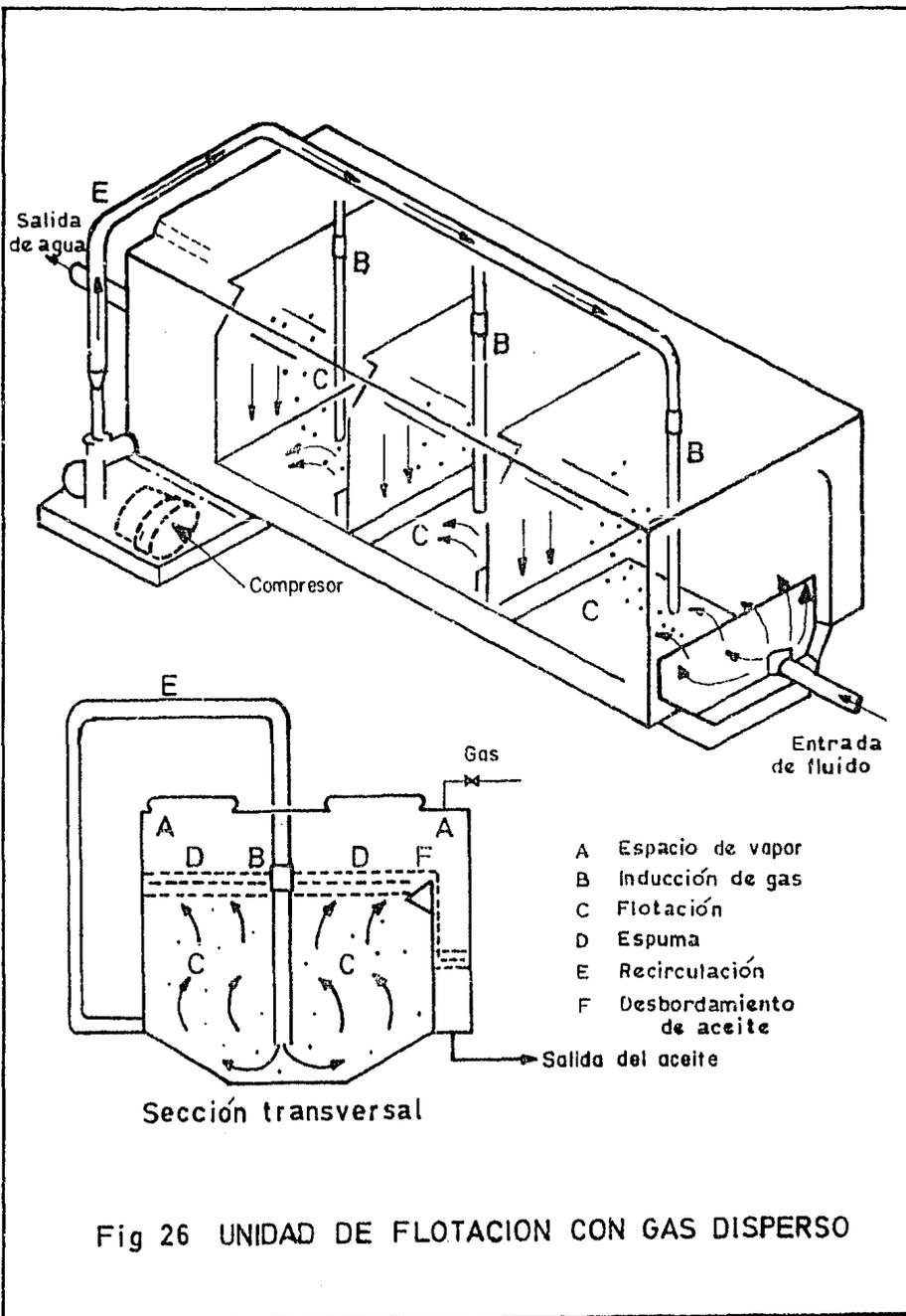
Generalmente se emplean productos químicos floculantes para coagular el aceite emulsionando, aumentando así la eficiencia de la unidad de flotación. Los parámetros de diseño dependen de los fabricantes, pero los tiempos de retención varían de 10 a 40 minutos.

b) Unidades de gas disperso.

En estas unidades, las burbujas de gas se dispersan en la corriente total, ya sea utilizando un mecanismo inductor o mediante remolinos creados por rotores mecánicos. En la Fig. 26 se muestra una sección transversal de esta unidad.

La mayoría de las unidades de gas disperso tienen 3-6 ó 4 celdas y el flujo de agua pasa de una celda a otra por debajo de los dispositivos desviadores de flujo.

Las pruebas de campo indican que virtualmente no existen cortos circuitos o rupturas del flujo a través de toda la unidad, debido a la intensidad del mezclado inducida



en cada celda.

Matemáticamente se ha demostrado que una unidad de gas disperso, debe tener un alto gasto de gas de inyección, un diámetro pequeño de las burbujas de gas inducido y una zona relativamente grande de mezclado; además, el diseño de la tobera o del rotor y de los dispositivos desviadores de flujo es determinante para la eficiencia de la unidad. De la experiencia obtenida en el campo, estas unidades operan en base a un porcentaje constante de separación y dentro de rangos normales, la eficiencia de separación del aceite es independiente de la concentración de entrada o del diámetro de la gota de aceite.

Existen diseños de toberas, rotores y dispositivos de flujo, de los cuales se puede obtener una eficiencia de separación de aproximadamente el 50% por cada celda; éstas están diseñadas para un tiempo de retención de 1 minuto, permitiendo que las burbujas de gas se liberen del líquido y se forme una nata de aceite en la superficie.

Es muy importante el tiempo que transcurre entre el depresionamiento y el mezclado con el afluente. Este tiempo debe ser lo más pequeño posible para evitar la formación de burbujas grandes, pues éstas no permitirían una adherencia de la partícula a separar.

Para lograr un buen grado de separación es necesario contar con suficiente cantidad de burbujas de gas liberadas, por lo tanto, el suministro de gas depende entre otras cosas de la cantidad de aceite a separar.

La flotación con aire nunca se debe usar para sustituir la separación por gravedad, como erróneamente se hace en algunos diseños, pero sí puede usarse en serie, es decir, a continuación de un sistema de separación por gravedad, con el fin de mejorar la calidad del efluente, ya que se proporciona una etapa más de separación.

A continuación se presentan algunas ventajas de las unidades de gas disperso con respecto a las unidades de gas disuelto:

- a) No es necesario la ayuda de un coagulante inorgánico.
- b) La unidad es cerrada y está diseñada para minimizar olores y emisiones atmosféricas.
- c) La eficiencia es mayor o igual sin necesidad de usar el coagulante inorgánico.
- d) El aceite recuperado, al no estar contaminado con sustancias extrañas puede utilizarse como combustible o recircularse al sistema.

- e) Requiere menor espacio de instalación e inversión.

IV.3.8 Equipo utilizado en plataformas marinas (15).

Por lo general, el agua producida debe ser tratada antes de descargarla al mar, con el propósito de que no se tenga arrastre de aceite y precisamente este equipo permite recolectar el agua tratada, la arena y los efluentes de los drenes de la cubierta, así como tener una última trampa de los hidrocarburos líquidos en el caso de descontrol en el equipo de tratamiento primario. La principal ventaja de este sistema es que no se ocupa espacio en la plataforma.

En el mercado existen diferentes diseños de equipo y aquí únicamente se hará mención de los siguientes:

- a) Tubería para el agua de deshecho.

Este equipo consiste simplemente de un tubo vertical de gran diámetro (de 24 a 48 pg) y está sujeto a una de las patas de la estructura de la plataforma hasta cierta profundidad abajo del nivel del agua. La parte superior del tubo

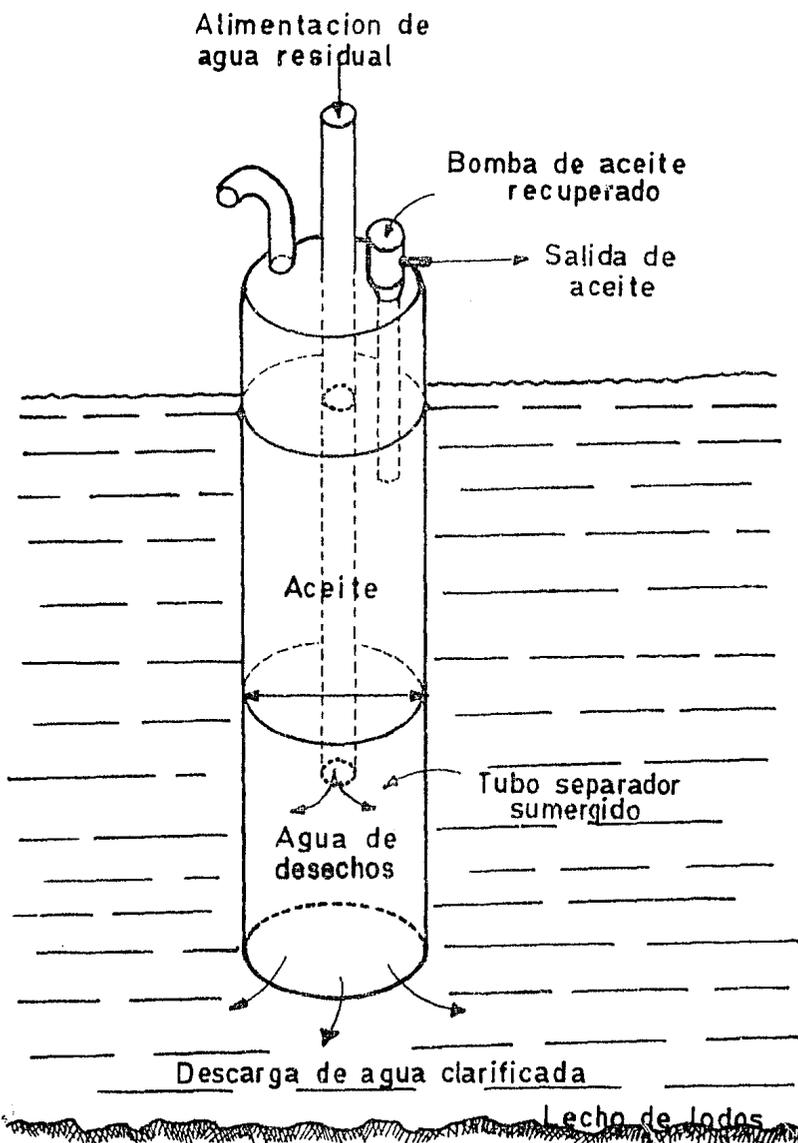


Fig. 27- TUBERIA PARA EL AGUA DE DESHECHOS

es cerrada y no debe estar más arriba del piso de la plataforma. En este extremo cuenta con un venteo y con un tubo -- que se inserta verticalmente a lo largo de la coraza, hasta una profundidad de $2/3$ de la longitud total del tubo principal, como se observa en la Fig. 27.

El agua residual fluye por el tubo pequeño hasta el interior del tubo separador, a una profundidad mayor del nivel del mar, realizándose propiamente la separación de aceite en el espacio anular de ambos tubos, donde se permite la - flotación de las gotas de aceite, su acumulación y bombeo a almacenamiento, antes de que la interfase agua-aceite alcance el extremo inferior del tubo de menor diámetro.

Por otro lado, el agua clarificada fluye al mar por el extremo inferior del tubo principal, el cual se encuentra abierto.

Estas tuberías deberán protegerse de la corrosión; - además, no tienen conductos pequeños que se puedan obturar - por las incrustaciones y poco les afecta los cambios instantáneos de gasto.

Por otra parte, la corriente de agua que pasa por el extremo abierto del tubo separador debe tener una velocidad-

menor a la velocidad de ascenso de las gotas de aceite, de otra forma, las arrastrará fuera del tubo separador, descargándolas directamente al mar causando con ésto contaminación.

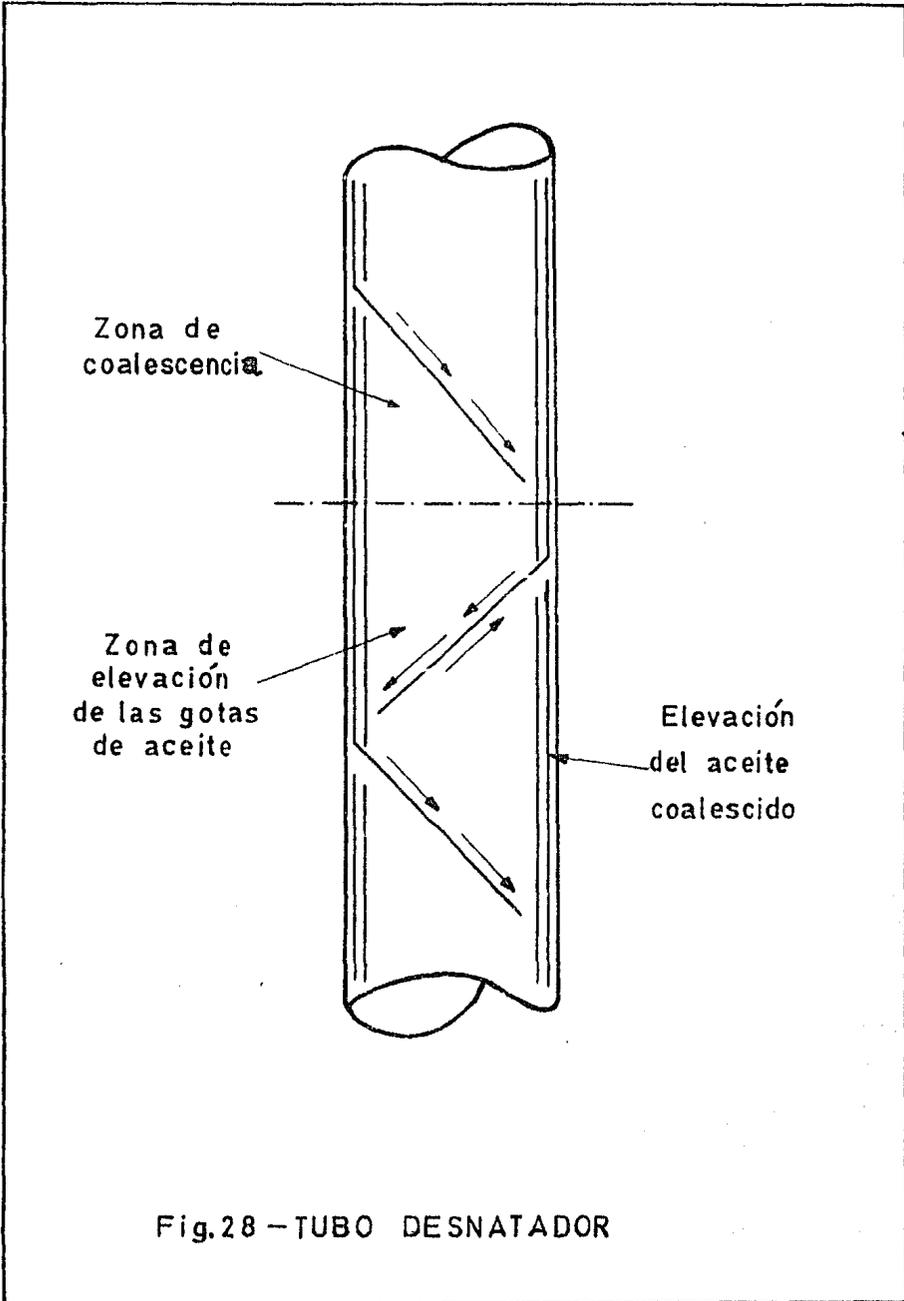
- b) Dimensionamiento de las tuberías para agua deshecho.

Conforme el agua producida entra a la tubería (una vez que se le dió el tratamiento en las vasijas capaces de separar gotas muy pequeñas), se separarán pequeñas cantidades de aceite debido a la coalescencia en la entrada y en la misma tubería; con lo anterior se observa, que se tiene muy poca recuperación de aceite.

La siguiente ecuación nos permite determinar el diámetro de la tubería de separación, suponiendo una separación de gotas de aceite de 150 micras:

$$(d_1)^2 = \frac{0.3 (q_{wr} + 0.356 A_D R_w)}{\gamma_w - \gamma_{ro}} \quad (46)$$

Si el gasto de agua tratada y de servicios generales en bl/día es mayor que el término $0.356 A_D R_w$, éste se debe sustituir por dicho gasto.



Zona de coalescencia

Zona de elevación de las gotas de aceite

Elevación del aceite coalescido

Fig.28 - TUBO DESNATADOR

En aguas someras la tubería tendrá tanta profundidad como lo permita el tirante de agua, para proporcionar una -- máxima capacidad de almacenamiento de aceite, en el caso de un mal funcionamiento del equipo y en aguas profundas, se -- determinará la profundidad considerando un margen de seguridad, para la capacidad de almacenamiento después de que se -- activen las señales de alarma y cierre.

Los sensores de las señales se deben instalar a una altura suficiente, con el fin de no registrar los cambios en la marea.

La longitud mínima que debe tener la tubería por abajo del nivel del mar, considerando 4 pies arriba del posible nivel de operación, se determina con la siguiente ecuación:

$$L_t = \frac{(h_t + h_s + 4) \gamma_{ro}}{\gamma_w - \gamma_{ro}} \quad (47)$$

c) Tubo desnatador.

Esta tubería es otro tipo de tubería para agua de -- deshecho, la cual se muestra en la Fig. 28. El flujo atraviesa una serie de placas desviadoras, creando zonas sin turbulencia, con lo que se reduce la distancia de elevación para-

una gota de aceite, separándose del flujo principal.

Una vez en la zona sin turbulencia, existe un tiempo para la coalescencia y la separación por gravedad, donde las gotas de aceite suben a la parte inferior de cada placa y de aquí fluyen a la sección de recolección de aceite.

Además de ser más eficiente para la separación de -- aceite que las tuberías para agua de deshecho, los tubos des-- natadores tienen la ventaja de poderse limpiar más fácil con la ayuda de la arena, con la desventaja de que ésta por su -- abrasividad, afecta a las placas desviadoras.

Debido a la complejidad del régimen de flujo en la -- tubería, aún no se ha determinado una ecuación adecuada para obtener las dimensiones, sin embargo, la experiencia de cam-- po indica que para tener un efluente aceptable en la sección de las placas, se debe dar un tiempo de retención de 20 minu-- tos. De lo anterior se tiene la siguiente ecuación:

$$(d_i)^2 L_d = 14.3 (q_w + 0.356 A_D R_w) \quad (48)$$

Un problema que se presenta con los dos equipos de -- separación para plataforma que se han descrito, es el mante-- nimiento de la bomba de aceite recuperado, ya que no puede --

ser eléctrica ni colocarse muy cerca de la superficie del nivel del mar.

Además, esta bomba maneja volúmenes bajos de aceite recuperado y tiene que vencer presiones de aproximadamente una columna hidrostática de 30 m., más la presión requerida para inyectar el aceite recuperado a la línea principal de aceite, es decir, presiones de 7 a 10 kg/cm².

IV.4 Selección de un sistema para el tratamiento de agua residual.

Es necesario tener información en un formato antes de empezar la selección y dimensionamiento de un sistema de tratamiento de agua.

Cada diseño de un sistema de tratamiento de agua debe comenzar con el diseño del separador trifásico o del tratador de calor, así como considerar un tratamiento adicional del agua tratada con los equipos anteriores antes de tirarla.

Tomando en cuenta lo anterior, el Ingeniero de Producción tiene la libertad de organizar el sistema como mejor lo crea conveniente, de acuerdo a su juicio y experiencia.

Bajo ciertas circunstancias se puede descargar el agua del eliminador del agua libre directamente a un tanque-desnatador para su tratamiento final antes de tirarla y en otros casos, necesitará un sistema completo con placas coalescedoras, unidades de flotación y tubería para tratamiento de agua residual.

IV.4.1. Información requerida para el diseño
(16).

1) Calidad del efluente a descargar en el medio ambiente (17). Los límites establecidos en el artículo 13 del reglamento para la prevención y control de la contaminación de las aguas, emitido por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos son los siguientes:

En tierra.

- a) Sólidos sedimentables - 1.0 mg/l.
- b) Grasas y aceites - 70 ppm.
- c) Materia flotante - ninguna.
- d) Temperatura del agua de descarga - 35°C como máximo con un margen de +50°C dependiendo de -

las condiciones naturales del lugar.

e) P.H. de 4.5 a 10.00.

En mar.

Se exigen las mismas limitaciones que en tierra, a excepción del inciso b).

b) Grasas y aceites 15 ppm.

2) El gasto del agua producida, Q_w , bl/día.

3) Densidad relativa del agua producida, considerar 1.07 si no se dispone de otro dato.

4) Viscosidad del agua tratada a temperatura de flujo, μ_w , considerar 1.1 cp si no se dispone de otro dato.

5) Concentración del aceite en el agua a tratar,-

en mg/l o ppm, mejor determinada de datos de laboratorio o de muestras de campo.

- 6) Densidad relativa del aceite a temperatura de operación.
- 7) La curva de distribución del tamaño de partícula para las gotas de aceite en el agua producida, mejor determinada de muestras de campo o datos de laboratorio, junto con un análisis del tamaño de la partícula manejada debido a la dispersión y coalescencia en el sistema.
- 8) Precipitación pluvial en pg/hr, considerar 2 pg/hr para el Golfo de México.
- 9) Curva de distribución del tamaño de la partícula para partículas de aceite libre en drenes de plataforma.

- 10) Concentración del aceite soluble a condiciones de descarga en mg/l o ppm, suponer 30 mg/l para el Golfo de México.

- 11) El gasto de agua de servicios generales en plataforma, considerar 1 500 bl/día.

IV.4.2 Calidad del afluyente de agua.

El primer paso en la selección de un sistema de tratamiento de agua es conocer la naturaleza de las corrientes.

a) Agua producida.

Es necesario conocer la concentración de aceite y la distribución del tamaño de la partícula relacionada a esa concentración. Esto es mejor determinarlo de las muestras de campo y de datos de laboratorio.

Varios proyectos han sido realizados para desarrollar procedimientos, con los cuales se desea determinar la concentración de aceite en la salida del agua del tratador y eliminador de agua libre, pero de la experiencia de campo se

tiene que, una suposición conservadora sería que el agua con tenga menos de 1,500 a 2,000 ml/l de aceite disperso.

No obstante que es posible determinar teóricamente la distribución del tamaño de la partícula de aceite, corriente arriba de la válvula de descarga, ya sea del eliminador de agua libre ó del tratador de calor, con las ecuaciones previamente presentadas (aunque muchos parámetros relacionados con la coalescencia son desconocidos), esta distribución no es un factor de diseño muy importante, debido a la dispersión que se presenta a través de dicha válvula; pero de la teoría de dispersión se ha demostrado que el diámetro máximo de la partícula es del orden de 10 a 50 micras si se presentaron las condiciones necesarias para que ocurra la coalescencia en la tubería corriente abajo de la válvula de descarga, entonces el diámetro máximo de la partícula estará definido por la ecuación de dispersión ⁽³⁴⁾ antes de que el agua entre a la primera vasija del sistema de tratamiento de agua. Para resolver esta ecuación se necesita conocer previamente la tensión superficial del aceite en una fase continua de agua, la cual está normalmente entre 1 y 50 dinas/cm y debe ser medida en el laboratorio, pero como ésta disminuye con las impurezas y éstas cambian con el tiempo, se recomienda en ausencia de datos, utiliza un diámetro máximo entre 250 y 500 micras para el diseño.

Es claro, que existirá una distribución de tamaño de partículas desde cero hasta un diámetro máximo y que esa distribución dependerá de los parámetros desconocidos en la fase inicial del diseño, pero los datos experimentales indican, que una posición conservadora para el diseño, sería determinar la distribución como se muestra en la Fig. 29.

Aceite disuelto.

En cada sistema, cierta concentración de aceite producida estará disuelto en el agua y no podrá ser separado -- totalmente por ningún sistema. Al aumentar la presión de tratamiento del agua, aumenta la concentración de aceite disuelto, por esta razón, la etapa final de tratamiento se operará a presión atmosférica.

IV.4.3 Selección del equipo.

El procedimiento que aquí se presenta debe servir -- como guía y no para sustituir el juicio y criterio del Ingeniero de Producción. Muchas correlaciones que se presentan -- deben ser ajustadas con los datos disponibles y la experiencia de campo. A continuación se presenta la secuencia general para el diseño del equipo:

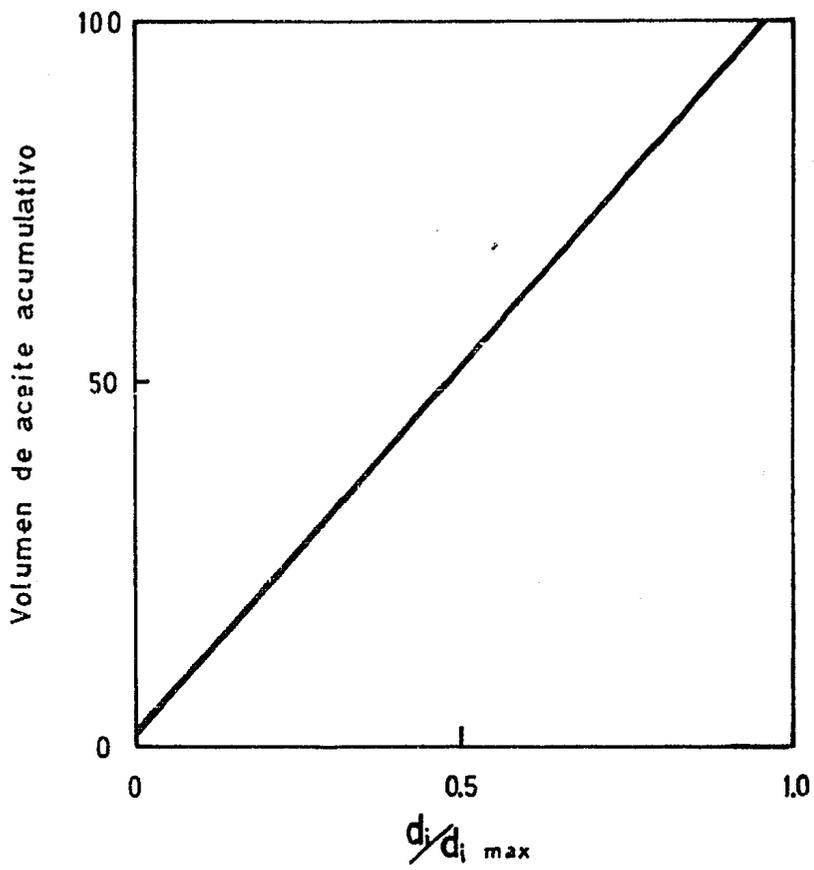


Fig 29 MONOGRAMA PARA DETERMINAR LA DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE LA PARTICULA EN LA CORRIENTE DE AGUA RESIDUAL

1) Determinar el contenido de aceite del efluente de agua producida; si no se cuenta con otra información, considerar 1,000 a 2,000 mg/l o ppm.

2) Determinar la calidad del efluente de aceite disperso, en ausencia de datos, utilizar 42 mg/l para los diseños en el Golfo de México, 28 mg/l menos de los 70 mg/l requeridos.

3) Determinar la distribución de tamaño de la partícula de aceite en la entrada de la corriente del agua producida. Utilizar la Fig. 29 con un diámetro máximo de 250 a 500 micras en ausencia de mejor información.

4) Determinar el diámetro de la partícula de aceite a tratar cumpliendo con la calidad requerida del efluente esto se puede obtener de la Fig. 29 o calcularse con la calidad del efluente entre la calidad del afluyente y multiplicado por el diámetro máximo de la partícula del aceite calculado en el paso 3.

5) Si el gasto de agua producida es menor a 3 000-b1/día ó si hay espacio disponible continuar en el paso 10; si el diámetro de la gota de aceite obtenida en el paso 4 es menor de 30 micras, se necesita una celda de flotación y con

tinuar en el paso 6, de lo contrario se debe usar un tanque-desnatador o placas coalescedoras y continuar en el paso 9.

6) Seleccionar de acuerdo a las necesidades, la celda de flotación de las que existen en el mercado.

7) Determinar la calidad del afluente a la celda de flotación, suponiendo una separación del 90% en la celda, para cumplir con la restricción establecida por la legislación vigente sobre contaminación ambiental.

8) Si la calidad requerida del afluente de la celda de flotación, es menor que la calidad determinada en el paso 1, determinar el diámetro de la partícula que será tratada en un desnatador o placas coalescedoras para tener esta calidad. Lo anterior se puede obtener de la Fig. 3 o dividiendo la calidad del afluente de la celda de flotación entre la calidad del afluente determinada en el paso 1 y multiplicado por el diámetro máximo de la partícula calculado en el paso 3.

9) Determinar las dimensiones de los desnatadores.

a) Seleccionar una configuración vertical u horizontal.

b) Seleccionar una vasija a presión o atmosférica

rica.

c) Determinar el tamaño.

Horizontales.

- 1) Calcular $d_i L_e$ con la ecuación 35.
- 2) Suponer un diámetro.
- 3) Computar L_c y L , donde $L_e = 0.75L$.
- 4) Tabular d_i , L_e y L .
- 5) Repetir los pasos 3) y 4) suponiendo diferentes diámetros.
- 6) Graficar d_i vs. L_e .
- 7) Suponer un tiempo de retención de 10 min.
- 8) Calcular $(d_i)^2 L_e$ con la ecuación 36.
- 9) Suponer un diámetro.
- 10) Computar L_e y L .
- 11) Tabular t_r , d_i , L_e y L .
- 12) Repetir los pasos 9) y 10) suponiendo diferentes diámetros.
- 13) Repetir los pasos 8) a 12) suponiendo tiempos de retención de 20 y 30 minutos respectivamente.
- 14) Graficar d_i y L_e .
- 15) Seleccionar la combinación de d_i y L_e que satisfaga ambas ecuaciones.

Verticales.

- 1) Calcular d_i mínimo con la ecuación 39.
- 2) Suponer un tiempo de retención de 10 min.
- 3) Suponer un diámetro mayor que el mínimo.
- 4) Obtener H con la ecuación 40.
- 5) Calcular la longitud del desnatador, aumentándole 3 pies al valor de H.
- 6) Tabular t_r , d_i , H y L.
- 7) Repetir los pasos 4) a 6) suponiendo otros diámetros.
- 8) Repetir los pasos 3) a 7) suponiendo un --
 $t_r = 20$ min. y un $t_r = 30$ min.
- 9) Seleccionar el desnatador vertical que ten
ga un diámetro mayor al diámetro mínimo; -
además, para la selección final se debe --
considerar las necesidades de la planta y -
el criterio del Ingeniero de Producción.
- 10) Determinar las dimensiones de las placas -
coalescedoras.
 - a) Seleccionar la configuración del IPC o del separador de flujo cruzado.
 - b) Determinar el número de paquetes de --
placas.

Si la producción de sólidos es baja, -

utilizar la ecuación 43, de lo contrario, ocupar la ecuación 44.

Las dimensiones reales del volumen de paquetes de placas dependen de los fabricantes.

- 11) Seleccionar la vasija desnatadora o la unidad de placas coalescedoras considerando - costo, espacio disponible y la producción de sólidos.
- 12) Seleccionar uno de los métodos para deshecho de agua residual (solo para plataformas marinas).
 - a) Determinar los gastos de precipitación pluvial y del agua de servicios generales en plataforma.
 - 1) $q_r = 0.356 A_D R_w$ (49)
 - 2) Considerar $q_{sg} = 1500$ bl/día.
 - 3) Para los siguientes cálculos considerar el mayor gasto.
 - b) Calcular el diámetro de la tubería para agua de deshecho con la ecuación 46.
 - 1) Si el diámetro es menor de 24 pg, - no se necesita ésta tubería.
 - 2) Si el diámetro es mayor a 48 pg, - continuar en paso c), de lo contra

rio ése es el diámetro de tubería a considerar y calcular la longitud mínima de la tubería con la ecuación 47, determinando la longitud total según las necesidades y el criterio del Ingeniero.

c) Determinar las dimensiones del tubo desnatador.

- 1) Calcular $(d_i)^2 L_d$ con la ecuación 48.
- 2) Suponer un diámetro de 24 pg.
- 3) Obtener la longitud de la tubería con desviadores de flujo, L' .
- 4) Repetir los pasos 2) y 3) suponiendo diámetros hasta de 48 pg, con incrementos de 4 pg.
- 5) Calcular la longitud mínima de la tubería con la ecuación 47.
- 6) Seleccionar la tubería para desnatado con base en la longitud obtenida en el punto 5) y el criterio del Ingeniero.

CAPITULO V

PROGRAMA DE COMPUTO

Este capítulo presenta el desarrollo de programas de cómputo, con ejemplos y soluciones para el diseño de equipo de separación aceite, gas y agua, con el propósito de agilizar el diseño.

Las gráficas obtenidas con el programa en un graficador HP muestran la amplia gama de combinaciones de diámetro y longitud de vasijas para los distintos equipos diseñados, permitiendo que la última decisión sobre un equipo seleccionado sea tomada por el Ingeniero de Producción, de acuerdo a su criterio, experiencia y necesidades particulares del sistema.

La computadora utilizada para la programación fue -- una Hewlett-Packard 87X, con Basic, y como se puede observar, la información necesaria para ejecutar los diseños es mínima.

Para el caso de los separadores bifásicos, se comparan los resultados con el método desarrollado por el Ing. -- Nolasco, discutiéndose ventajas y desventajas entre los dos métodos.

Iniciando con el diseño de separadores bifásicos, se tiene un ejemplo, con los siguientes datos: gasto de gas = 10×10^6 psc³/día, densidad relativa del gas = 0.6, gasto de aceite = 2000 bl/día, con una densidad relativa de 40° -- API, mientras la presión y temperatura de operación están a 1000 lb/pg² y 60°F respectivamente.

Resolviendo el ejemplo primeramente con la opción 1 del menú principal y seleccionando un separador vertical se tienen los resultados tabulados y gráficos mostrados adelante.

Como se puede observar, pueden existir diferentes combinaciones aceptables para solucionar este ejemplo, para distintos tiempos de retención, pero la decisión final debe ser del Ingeniero de Producción.

Prácticamente, los parámetros para la selección son la relación de delgadez (la cual es una relación geométrica entre el diámetro y la longitud del separador en éste caso --

varía de 3 a 4) y que el diámetro del separador sea mayor al mínimo para el manejo de la capacidad de gas.

Una solución al ejemplo propuesto, sería un separador con 10 pies de longitud y 36 pg. de diámetro, el cual nos proporcionaría un tiempo de retención de poco más de 3 minutos, cumpliendo con la restricciones de la R_d y el diámetro mínimo.

Ahora, resolviendo el mismo ejemplo, pero utilizando el método del Ing. Nolasco, se tienen los siguientes resultados: longitud del separador = 10 pies, diámetro = 37.45 pg. con tiempo de retención de 3 minutos.

Para la capacidad de gas se obtuvo un diámetro mínimo del separador de 14.61 pg. y a partir de éste diámetro se puede seleccionar cualquiera para la solución del ejemplo.

Variando los tiempos de retención en este ejemplo se obtuvieron valores de diámetros bastante similares. Aplicando otros ejemplos se observaron iguales resultados a los mencionados, por lo que se concluye que los dos métodos son bastante semejantes en sus resultados con la diferencia de que en el del Ing. Nolasco no existe la restricción de la relación de delgadez, permitiendo una mayor combinación de di-

y en el otro si se restringe el área de selección, como se -
nota en la gráfica de separadores verticales.

Con estos mismos datos, ejecutando la opción 1 del -
menú principal, pero seleccionando un separador horizontal -
se obtienen los resultados para varias combinaciones de diá-
metro interno y longitud del separador, como se muestra en -
la siguiente gráfica y tabla.

Una vez más, la selección de la posible combinación-
dependerá del Ingeniero de Producción, pero una solución fac-
tible puede ser, seleccionar un separador con 10 pies de lon-
gitud y 30 pulgadas de diámetro, que nos proporciona un tiem-
po de retención de 2.5 minutos aproximadamente y está dentro
del rango de la relación de delgadez establecido.

Al observar la gráfica obtenida, se nota que la cur-
va de capacidad de gas no está dentro de los límites estable-
cidos, con lo que se deduce que no es determinante en el di-
seño para éste ejemplo.

DISEÑO DE UN SEPARADOR BIFÁSICO VERTICAL

DATOS:

Presion de Operacion : 1000.0 lb/pg² abs
 Temperatura de Operacion : 60.0 F
 Densidad del aceite : 40 API
 Densidad relativa del gas : 0.600 adim
 Gasto de Aceite : 2000.0 bl/dia
 Gasto de Gas : 10.0 MMpcd

Combinaciones de di-L

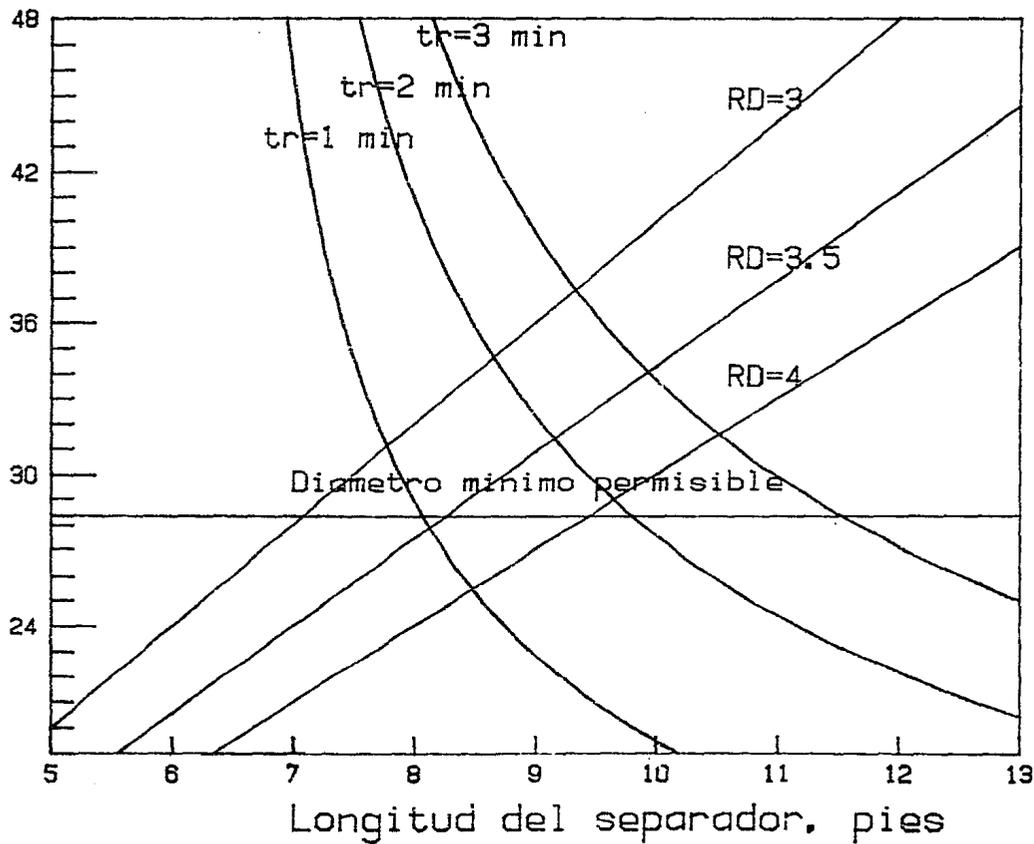
Tiempo de Retencion (min)	Diametro (pg.)	Altura del Vol. de liq. (pg.)	Longitud Total (pies)	Relacion de delgadez
1	48	7.234	6.936	1.73
1	42	9.448	7.121	2.03
1	36	12.860	7.405	2.47
1	30	18.519	7.877	3.15
1	24	28.935	8.745	4.37
2	48	14.468	7.539	1.88
2	42	18.896	7.908	2.26
2	36	25.720	8.477	2.83
2	30	37.037	9.420	3.77
2	24	57.870	11.156	5.58
3	48	21.701	8.142	2.04
3	42	28.345	8.695	2.48
3	36	38.580	9.548	3.18
3	30	55.556	10.963	4.39
3	24	86.806	13.567	6.78

Diámetro mínimo permisible para el manejo de gas : 28.331 pgs.

De acuerdo al rango de 3.0 a 4.0 en la relacion de delgadez, los separadores posibles son :

1	30	18.519	7.877	3.15
2	30	37.037	9.420	3.77
3	36	38.580	9.548	3.18

Diametro del separador, pg.



Separador Bifasico Vertical

DISEÑO DE UN SEPARADOR BIFÁSICO HORIZONTAL

DATOS:

Presion de Operacion :	1000.0	lb/pg ² abs
Temperatura de Operacion :	60.0	F
Densidad del aceite :	40	API
Densidad relativa del gas :	0.600	adim
Gasto de Aceite :	2000.0	bl/dia
Gasto de Gas :	10.0	MMpcd

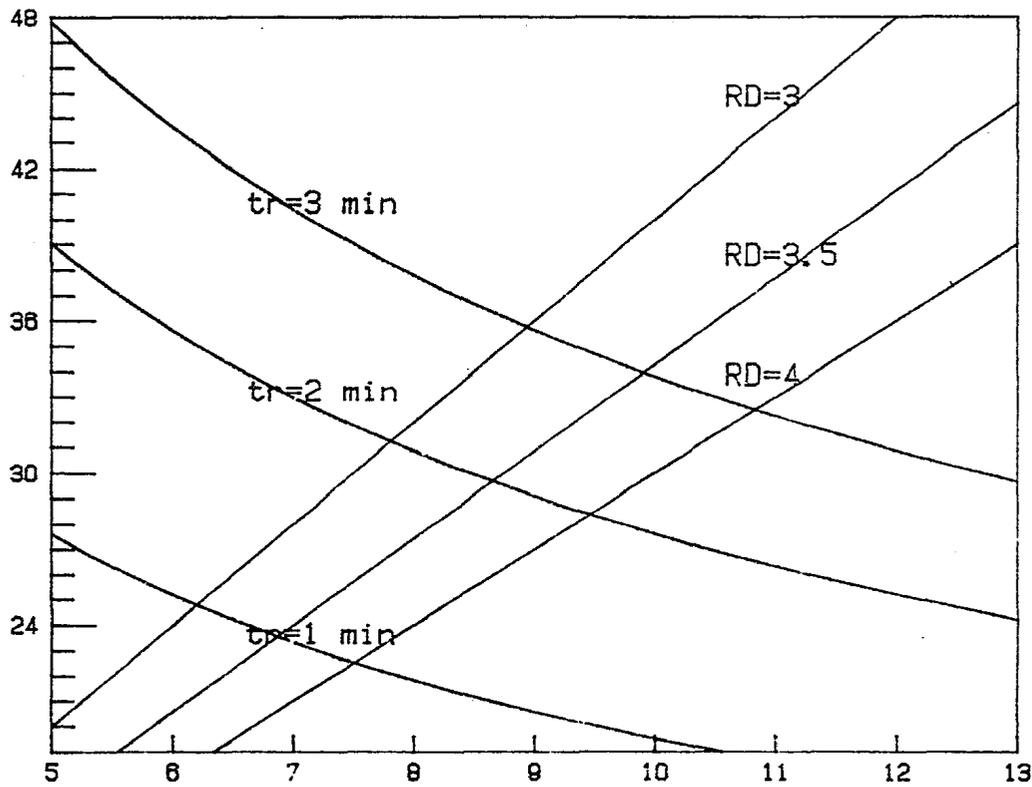
Combinaciones de di-L

Tiempo de Retencion (min)	Diametro (pg.)	Altura del Vol. de liq. (pg.)	Longitud Total (pies)	Relacion de delgadez
1	48	24.000	1.653	.41
1	42	21.000	2.160	.62
1	36	18.000	2.939	.98
1	30	15.000	4.233	1.67
1	24	12.000	6.614	3.31
2	48	24.000	3.307	.83
2	42	21.000	4.319	1.23
2	36	18.000	5.879	1.96
2	30	15.000	8.466	3.39
2	24	12.000	13.228	6.61
3	48	24.000	4.960	1.24
3	42	21.000	6.479	1.85
3	36	18.000	8.818	2.94
3	30	15.000	12.698	5.08
3	24	12.000	19.841	9.92

De acuerdo al rango de 3.0 a 4.0 en la relacion de delgadez, los separadores posibles son :

1	24	12.000	6.614	3.31
2	30	15.000	8.466	3.39

Diámetro del separador, pg.



Separador Bifasico Horizontal

Diseñando ahora un separador trifásico, se tiene la siguiente información: gasto de aceite = 5000 bl/día, gasto de agua = 3000 bl/día, gasto de gas = 5×10^6 pies³/día, presión de operación = 100 lb/pg², temperatura de operación = 90°F, densidad del aceite = 30°API, densidad relativa de agua = 1.07, densidad del gas = 0.6 y viscosidad del aceite = 10 cp.

Ejecutando la opción 2 del menú general e introduciendo la información, así como seleccionando primeramente el diseño de un separador vertical, se obtienen la siguiente tabla de resultados y gráfica.

Existen una serie de combinaciones de di-L tabulados, las cuales cumplen con las restricciones de ser mayores al diámetro mínimo permisible para el asentamiento de las gotas de agua y dentro del rango de la relación de delgadez (1.5 a 3) para diferentes tiempos de retención.

Una solución, sería seleccionar de esta tabla de resultados una combinación di-L determinada, y otra manera, resolverlo a través de la gráfica. Tal vez una selección razonable a este ejemplo sea escoger un separador con 90 pg. de diámetro por 15 pies de longitud o 96 pg. por 12 pies para un tiempo de retención de 10 minutos, pero nuevamente -

la selección final depende del Ingeniero de Producción.

Resolviendo el ejemplo para el caso de un separador horizontal, la lógica a seguir para la selección sería igual que la de los separadores verticales, con lo que una posible solución sería un separador con 84 pg. de diámetro y 21 --- pies de longitud para un tiempo de retención de 10 minutos.

DISEÑO DE UN SEPARADOR TRIFASICO VERTICAL

DATOS:

Presion de Operacion :	115.0	lb/pg ² abs
Temperatura de Operacion :	90.0	F
Densidad del aceite :	30	API
Densidad relativa del gas :	0.600	adim
Densidad relativa del agua:	1.070	adim
Viscosidad del aceite:	10	cp
Gasto de Aceite :	5000.0	bl/dia
Gasto de Gas :	5.0	MHpcd
Gasto de Agua :	3000.0	bl/dia

Combinaciones de di-L

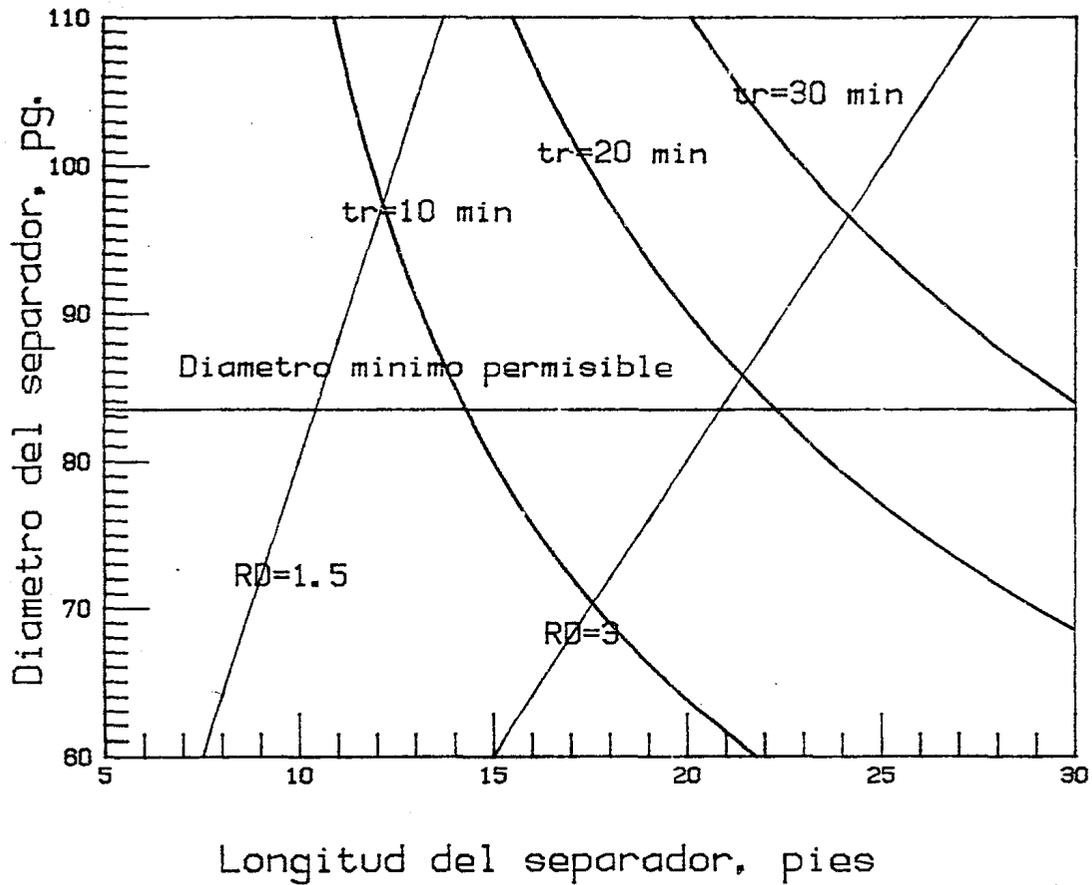
Tiempo de Retencion (min)	Diametro (pg.)	Altura del Vol. de liq. (pg.)	Longitud Total (pies)	Relacion de delgadez
10	102	64.078	11.673	1.37
10	96	72.338	12.361	1.55
10	90	82.305	13.192	1.76
10	84	94.482	14.207	2.03
10	78	109.577	15.465	2.38
20	102	128.156	17.013	2.00
20	96	144.676	18.390	2.30
20	90	164.609	20.051	2.67
20	84	188.964	22.080	3.15
20	78	219.154	24.596	3.78
30	102	192.234	22.353	2.63
30	96	217.014	24.418	3.05
30	90	246.914	26.909	3.59
30	84	283.447	29.954	4.28
30	78	328.731	33.728	5.19

Diametro minimo permisible para el manejo de gas : 42.310 pgs.

Diam. min. permisible para el asentamiento del agua: 83.454 pgs.

De acuerdo al rango de 1.5 a 3.0 en la relacion de delgadez, los separadores posibles son :

10	96	72.338	12.361	1.55
10	90	82.305	13.192	1.76
10	84	94.482	14.207	2.03
20	102	128.156	17.013	2.00
20	96	144.676	18.390	2.30
20	90	164.609	20.051	2.67
30	102	192.234	22.353	2.63



Separador Trifasico Vertical

DISEÑO DE UN SEPARADOR TRIFASICO HORIZONTAL

DATOS:

Presion de Operacion :	115.0	lb/pg ² abs
Temperatura de Operacion :	90.0	F
Densidad del aceite :	30	API
Densidad relativa del gas :	0.600	adim
Densidad relativa del agua:	1.079	adim
Viscosidad del aceite:	10	cp
Gasto de Aceite :	5000.0	bl/dia
Gasto de Gas :	5.0	MMpcd
Gasto de Agua :	3000.0	bl/dia

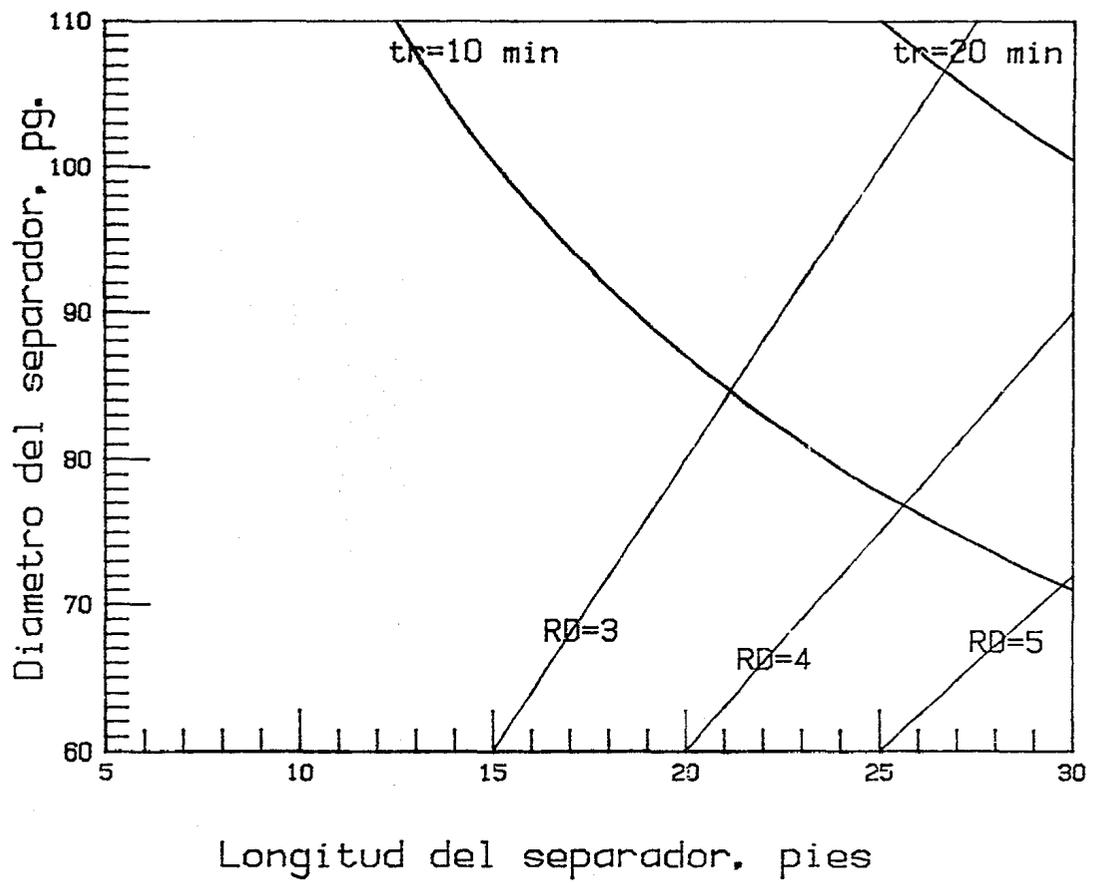
Combinaciones de di-L

Tiempo de Retencion (min)	Diametro (pg.)	Altura del Vol. de liq. (pg.)	Longitud Total (pies)	Relacion de delgadez
10	108	54.000	12.986	1.44
10	96	48.000	16.435	2.05
10	84	42.000	21.466	3.07
10	72	36.000	29.218	4.87
10	60	30.000	42.074	8.41
20	108	54.000	25.972	2.89
20	96	48.000	32.870	4.11
20	84	42.000	42.933	6.13
20	72	36.000	58.436	9.74
20	60	30.000	84.148	16.83
30	108	54.000	38.957	4.33
30	96	48.000	49.306	6.16
30	84	42.000	64.399	9.20
30	72	36.000	87.654	14.61
30	60	30.000	126.222	25.24

Diam. max. permisible para el asentamiento del agua: 241.884 pgs.

De acuerdo al rango de 3.0 a 5.0 en la relacion de delgadez, los separadores posibles son :

10	84	42.000	21.466	3.07
10	72	36.000	29.218	4.87
20	96	48.000	32.870	4.11
30	108	54.000	38.957	4.33



Separador Trifasico Horizontal

Seleccionando la opción 3 del menú general, se entra al módulo de diseño de tratadores de calor, para lo cual se tiene la siguiente información a manera de ejemplo: gasto de aceite = 2000 bl/día, densidad del aceite = 40°API, temperatura de operación = 90°F y densidad relativa del agua = 1.04.

Introduciendo estos datos y diseñando un tratador de calor vertical, se obtiene la tabla de resultados y gráfica siguientes.

Como se explicó en el capítulo III, el tiempo de retención se recomienda que varíe de 20 a 30 minutos, por lo que para este ejemplo, suponiendo un tiempo de 20 minutos se obtiene la curva graficada, abajo de la cual no puede seleccionarse ningún tratador.

Las temperaturas de tratamiento se proponen que oscilen entre 120 y 160°F, obteniéndose las rectas graficadas. Por lo tanto una solución económica dependerá del balance entre la geometría del tratador y la cantidad de calor a utilizar para manejar cierta temperatura, ya que para elevar 1°F se requiere 280 Btu para el agua y 150 para el aceite.

Una posible solución a este ejemplo, considerando el criterio mencionado, es un tratador de calor con 72 pg. -

de diámetro, 65 pies de altura en la sección de coalescencia y 0.49 MMBtu/hr de calor, con una temperatura de tratamiento de 115°F.

De igual forma se diseña la sección de coalescencia de un tratador de calor horizontal, como se muestra en el siguiente ejemplo: gasto de aceite = 5000 bl/día, densidad del aceite = 30°API, temperatura de operación = 80°F y densidad relativa del agua = 1.04.

Al seleccionar la opción 3 del menú principal, diseñando un tratador horizontal e introduciendo los datos solicitados en la computadora, se obtiene una tabla con las combinaciones di-L y una gráfica.

Una solución económica a este ejemplo, es seleccionar un tratador de 120 pg. de diámetro, con una longitud de coalescencia de 20 pies y 3.44 MMBtu/hr de calor. La temperatura de tratamiento tal vez fuera 140°F debido a la naturaleza empírica del método, pero se podría manejar hasta 160°F.

DISEÑO DE UN TRATADOR VERTICAL DE CALOR

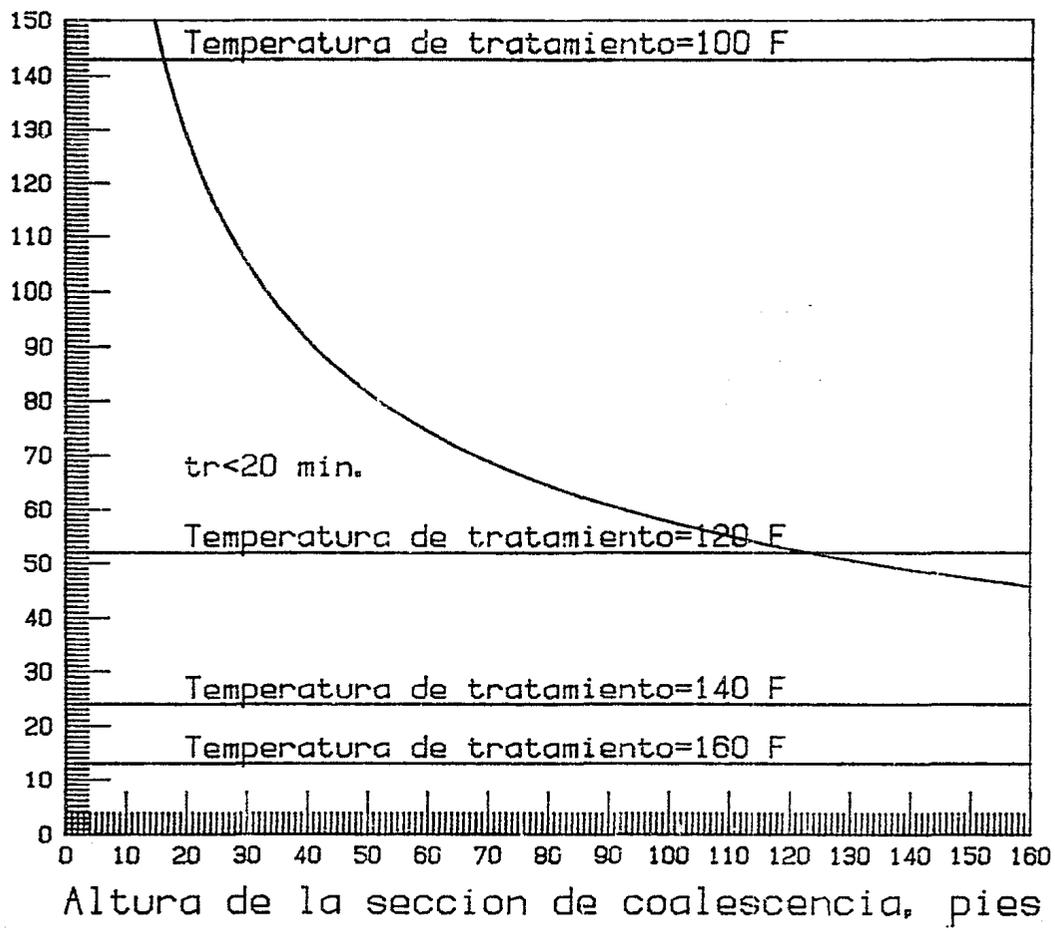
DATOS:

Gasto de Aceite :	2000.0	bl/dia
Densidad del aceite :	40	API
Temperatura de Operacion :	90.0	F
Densidad relativa del agua:	1.040	adim

Combinaciones de di-L

Temperatura de Operac. (F)	Viscosidad del aceite (cp.)	Diámetro de la gota agua (micras)	Diámetro del Tratador (pgs.)	Longitud de secc.coal (pies)	Calor Requerido MMBtu/h
100	5.2	165.3	143.0	16.3	.164
120	3.3	221.1	52.0	123.3	.492
140	2.4	275.6	24.0	578.7	.820
160	1.9	328.5	13.0	1972.4	1.148

Diametro del tratador, pgs.



Tratador de calor vertical

DISEÑO DE UN TRATADOR HORIZONTAL DE CALOR

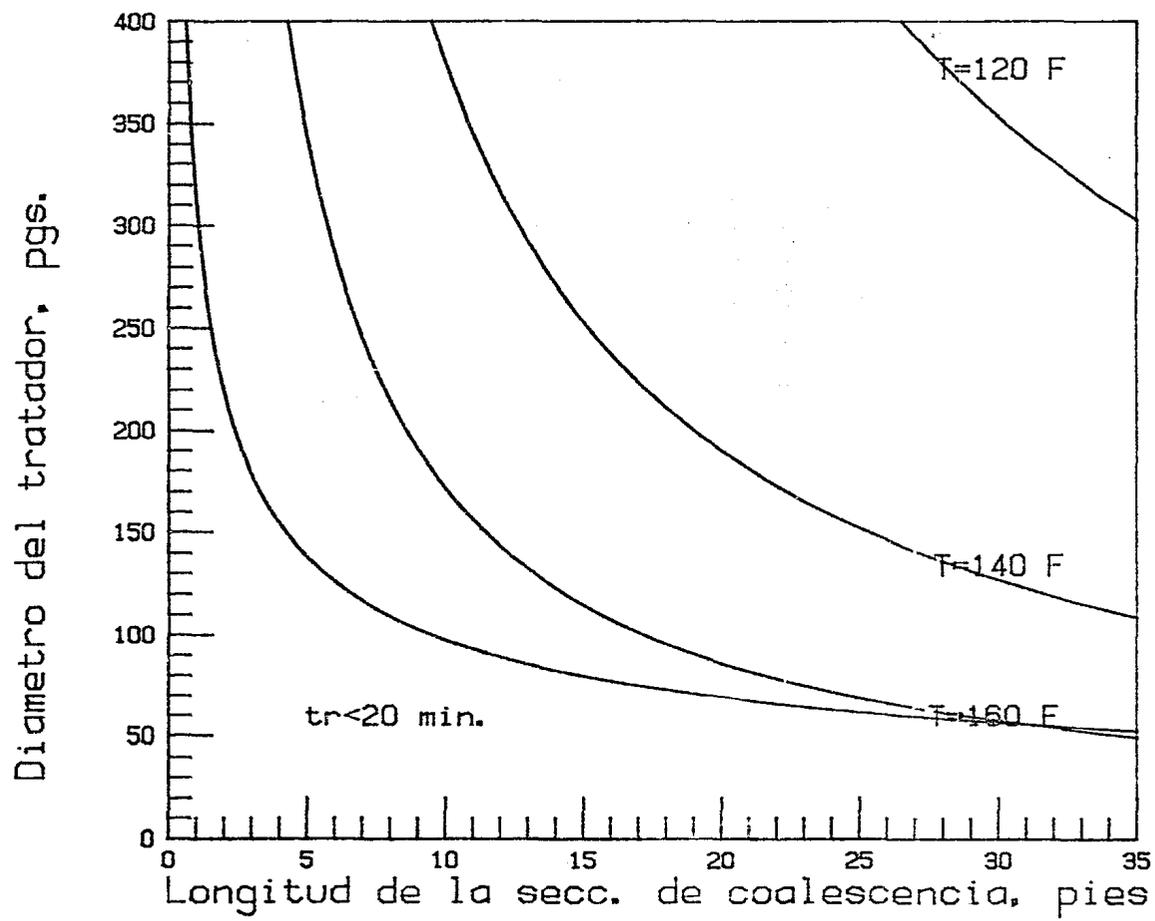
DATOS:

Gasto de Aceite : 5000.0 bl/día
 Densidad del aceite : 30 API
 Temperatura de Operación : 80.0 F
 Densidad relativa del agua: 1.040 adim

Combinaciones de di-L.

Temperatura de Operac. (F)	Viscosidad del aceite (cp.)	Diametro de la gota agua (micras)	Diametro del Tratador (pgs.)	Longitud de secc.coal (pies)	Calor Requerido MMbtu/h
100	17.3	73.0	96.0	451.2	.861
100	17.3	73.0	120.0	361.0	.861
100	17.3	73.0	144.0	300.8	.861
100	17.3	73.0	168.0	257.8	.861
120	9.5	109.4	96.0	110.4	1.722
120	9.5	109.4	120.0	88.3	1.722
120	9.5	109.4	144.0	73.6	1.722
120	9.5	109.4	168.0	63.1	1.722
140	6.1	147.0	96.0	39.6	2.583
140	6.1	147.0	120.0	31.6	2.583
140	6.1	147.0	144.0	26.4	2.583
140	6.1	147.0	168.0	22.6	2.583
160	4.4	184.5	96.0	17.9	3.444
160	4.4	184.5	120.0	14.3	3.444
160	4.4	184.5	144.0	11.9	3.444

Tratador de calor horizontal



Al seleccionar la opción 4 del menú principal, se ejecuta el programa para el diseño de equipo de tratamiento de aguas residuales.

Los únicos datos indispensables para la ejecución del diseño son la producción de agua, densidad del aceite y si el diseño es para una plataforma marina, solicita el área de la misma.

Los demás datos que se solicitan por pantalla, si no se tienen, el programa considera unos valores automáticamente (ver capítulo IV), al responderle con cero al momento de ser introducidos.

Se cuenta con la siguiente información, para resolver una aplicación: gasto de agua = 5000 bl/día, densidad del -- aceite = 40°API y área de la plataforma = 2500 pies².

Este programa tiene una lógica conversacional que --- guía al operador del sistema, a la contestación de preguntas y al mismo tiempo al diseño del equipo requerido.

En las siguientes páginas se muestran los resultados como solución a nuestro ejemplo. Como se observó, para la elección final del desnatador, se debe consultar los resultados-

tabulados o directamente la gráfica. Para este caso, dependiendo del costo y del espacio disponible, una buena solución sería un desnatador con 72 pg. de diámetro y 10 pies de longitud, considerando un tiempo de retención de 10 minutos.

Para determinar el número de paquetes de placas coalescedoras, si el valor obtenido es menor que uno, se aplica otro criterio, en donde el gasto óptimo a manejar por paquete debe ser menor a 20,000 bl/día y como en nuestro ejemplo el gasto es de 5,000 bl/día, se deduce que se debe utilizar un solo paquete de placas coalescedoras con las dimensiones determinadas por los fabricantes.

Únicamente se debe utilizar un desnatador con una celda de flotación o una unidad de placas coalescedoras en combinación con una celda de flotación, para que el efluente cumpla con lo estipulado con la legislación vigente en cuanto a contaminación ambiental.

Con respecto a la tubería desnatadora, la selección final será de las condiciones particulares geográficas y climatológicas en donde se encuentre la plataforma, aunque se presenten una serie de posibles combinaciones de di-L.

DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA ZONA MARINA

Gasto de Agua	5000.0	bl/dia
Densidad relativa del agua	1.07	adim
Viscosidad del agua producida	1.10	cp
Densidad del aceite	40	API
Contenido de aceite en el agua producida:	1000	mg/l
Diametro max. de la partícula de aceite :	500	micras
Calidad del efluente de aceite disperso :	42	mg/l
Gasto de agua de servs. grales. de plat.:	1780.0	bl/d
Ritmo de precipitación pluvial	2	pg/hr
Area de deposito	2500.0	pie ²
Altura probable de la marea	2	pies
Cambio del nivel del mar por tormenta . :	2	pies

EQUIPO DISEÑADO - CARACTERISTICAS

- DESHATADOR

Vertical

Vasija a la atmosfera

Diametro minimo requerido = 59.70 pgs.
 Factor de turbulencia empleado = 1.00 adim.

Tiempo de Retencion (min)	Diametro (pgs)	Altura del Liquido (pies)	Longitud (pies)
10	54.0	12.0	15.0
10	60.0	9.7	12.7
10	66.0	8.0	11.0
10	72.0	6.8	9.8
10	78.0	5.8	8.8
20	54.0	24.0	27.0
20	60.0	19.4	22.4
20	66.0	16.1	19.1
20	72.0	13.5	16.5
20	78.0	11.5	14.5
30	54.0	36.0	39.0
30	60.0	29.2	32.2
30	66.0	24.1	27.1
30	72.0	20.3	23.3
30	78.0	17.3	20.3

- PLACAS COALESCEDORAS

Interceptor de placas corrugadas

Produccion de arena : ALTA

Numero de Paquete de Placas = .056

- CELDA DE FLOTACION

Eficiencia de separacion de la celda : 90%

Calidad del afluente : 420 mg/l

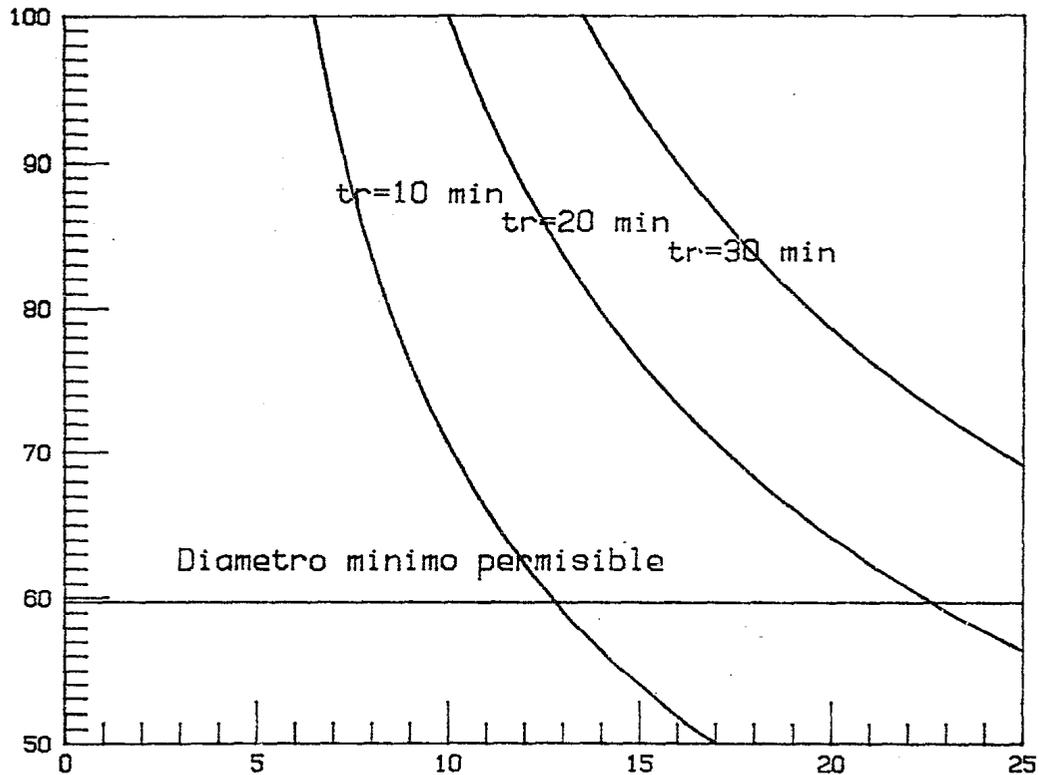
Seleccione una unidad de las placas coalescedoras o de desnatadores para utilizarla en combinacion con la celda de flotacion

- EQUIPO REQUERIDO PARA PLATAFORMAS MARINAS

TUBERIA DESNATADORA

Diámetro (pulg)	Longitud de la secc. coalesc. (pies)
24.000	168.323
28.000	123.666
32.000	94.682
36.000	74.819
40.000	60.596
44.000	50.090
48.000	42.081
52.000	0.000

Diametro del desnatador, pgs.



Altura del desnatador, pies

Desnatador Vertical

En las siguientes hojas se muestran los listados de -
los programas de cómputo utilizados:

TES10	Menú principal.
TES11	Diseño de separadores bifásicos.
TES12	Diseño de separadores trifásicos.
TES13	Diseño de tratadores de calor.
TES14	Diseño de equipo para tratamiento- de aguas residuales.

```

10 !
20 !   STORE "TES10.TESIS"
30 ! *****
40 ! *****
50 ! *****
60 ! *****
70 ! *****
80 !
90 DIM B$(15)[71]
100 CLEAR
110 FOR B=1 TO 15 @ B$(B)=" " @ NEXT B
120 B$(3)="-"
130 FOR B=1 TO 65 @ B$(3)=B$(3)&"-" @ NEXT B
140 B$(1)="          DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE PRODUCCION"
150 B$(2)="          ACEITE, GAS Y AGUA"
160 B$(6)="          1.- SEPARADORES BIFASICOS."
170 B$(7)="          2.- SEPARADORES TRIFASICOS."
180 B$(8)="          3.- TRATADORES DE CALOR."
190 B$(9)="          4.- EQUIPO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES."
210 B$(10)="          5.- FIN DE SESION."
220 B$(13)="          SELECCIONE UNA OPCION . . ."
230 FOR B=1 TO 13 @ DISP B$(B) @ NEXT B
240 INPUT O1
250 IF O1<1 OR O1>6 THEN GOTO 100
260 IF O1=1 THEN CHAIN "TES11.TESIS"
270 IF O1=2 THEN CHAIN "TES12.TESIS"
280 IF O1=3 THEN CHAIN "TES13.TESIS"
290 IF O1=4 THEN CHAIN "TES14.TESIS"
300 CLEAR
310 END

```

EEDR/LRCH

22/JUN/86

```

10 !
20 !   STORE "TES11.TESIS"
30 !   ****
40 !   ****
50 !   ****          PROGRAMA DE DIMENSIONAMIENTO DE SEPARADORES BIFASICOS          ****
60 !   ****          ****
70 !   ****
80 !   ****          EEDR/LRCH          22/JUL/86
90 DIM B$(15),DS(15),TR1(15),H1(15),LSS1(15),DEL1(15)
100 DIM D$(45),LV$(30),LH$(30),LG$(30),D1$(30),LQ$(30)
110 CLEAR
120 DISP @ DISP @ DISP @ DISP
130 DISP "          DESEA REALIZAR UN DISEÑO DE SEPARADORES BIFASICOS?"
140 DISP @ DISP @ DISP
150 DISP "          RESP(S/N)@" @ INPUT A2$
160 IF A2$ ( ) "S" AND A2$ ( ) "N" THEN 110
170 IF A2$="N" THEN CHAIN "TES10"
180 DISP "TECLEAR LA PRESION DE OPERACION (PSIA)" @ INPUT P
190 DISP "TECLEAR LA TEMPERATURA DE OPERACION ( F )" @ INPUT T
200 DISP "TECLEAR LA DENSIDAD DEL ACEITE ( API )" @ INPUT DA
210 DISP "TECLEAR LA DENSIDAD RELATIVA DEL GAS " @ INPUT SGG
220 DISP "TECLEAR EL GASTO DE GAS (MMpcd)" @ INPUT QG
230 DISP "TECLEAR EL GASTO DE ACEITE (bpd)" @ INPUT QD
240 DISP "DESEA REALIZAR EL DISEÑO DE UN SEPARADOR VERTICAL (V) U HORIZONTAL (H)
" @ INPUT A$
250 IF A$ ( ) "H" AND A$ ( ) "V" THEN 240
260 GOSUB INICIA
270 !
280 !          CALCULO DE K
290 !
300 X=SGG*P/(T+460) @ Z=DA
310 Y1=.086144727+.00078491*Z-.0000099465*Z^2+(.415725505-.0000873*Z+.00001728*Z
^2)*X+((- .90642158-.0089429*Z+.00016534*Z^2)*X^2)
320 Y2=(1.415799+.0354223*Z-.00069598*Z^2)*X^3+((-1.17925655-.0476789*Z+.0009563
3*Z^2)*X^4)
330 Y3=(.48610175+.02675289*Z-.00054142*Z^2)*X^5+((- .9780217-.0053651*Z+.0001077
5*Z^2)*X^6)
340 K=Y1+Y2+Y3
350 DO=141.5/(DA+131.5)
360 LH$="Longitud del separador, pies"
370 LV$="Diametro del separador, pg."
380 LG$,LQ$="Diametro minimo permisible"
390 IF A$="V" THEN D1$="Separador Bifasico Vertical"
400 IF A$="H" THEN D1$="Separador Bifasico Horizontal"
410 GOSUB GRAF1
420 DATA 24,30,36,42,48,24,30,36,42,48,24,30,36,42,48
430 FOR S=1 TO 15 @ READ DS(S)@ NEXT S
440 IF A$ ( ) "V" THEN 810
450 !

```



```

980 LABEL LG$
990 NEXT DG
1000 !
1010 ! Calculo para la capacidad de liquido.
1020 ! -----
1030 S=1
1040 FOR TR=3 TO 1 STEP -1
1050 MOVE 0,0 @ MW=0
1060 FOR DL=16 TO 48 STEP .1
1070 D12LEF=TR*90/.7
1080 LEF=D12LEF/DL^2
1090 H=.5*DL
1100 LSS=LEF/.75
1110 DEL=12*LSS/DL
1120 PLOT LSS,DL
1130 IF DS(S)=DL THEN GOSUB GUARDA
1140 IF LSS>= 7 AND LSS<= 7.85 THEN GOSUB ETIQUETA
1150 NEXT DL
1160 NEXT TR
1170 RDE1=3 @ RDE2=4 @ RDE3=.5 @ RDE4=1 @ RDE5=13
1180 GOSUB GRAF3
1190 D$="DISEÑO DE UN SEPARADOR BIFASICO HORIZONTAL"
1200 GOSUB IMPRINE
1210 CLEAR
1220 DISP @ DISP @ DISP @ DISP
1230 DISP " DESEA REALIZAR OTRO DISEÑO? RESP(S/N)" @ INPUT A1$
1240 IF A1$ (> "S" AND A1$ (< "N" THEN 1210
1250 IF A1$="S" THEN 180
1260 CHAIN "TES10"
1270 END
1280 !
1290 ! SUBROUTINA PARA DIMENSIONAR EL AREA DE LA GRAFICA
1300 !
1310 GRAF1:
1320 PLOTTER IS 705
1330 LOCATE 20,110,18,90
1340 FRAME
1350 SCALE 5,13,19,48
1360 LAXES -1,1,5,18,1,6,8
1370 MOVE 7,16
1380 CSIZE 5,.6
1390 LABEL LH$
1400 MOVE 4,22
1410 DEG @ LDIR 90 @ LABEL LV$
1420 MOVE 13.5,45 @ LDIR 270
1430 LABEL D1$ @ LDIR 0
1440 CSIZE 4,.6
1450 RETURN
1460 !
1470 ! SUBROUTINA PARA IMPRIMIR ETIQUETAS A LAS CURVAS
1480 ETIQUETA:
1490 ET$="tr="&VAL$(TR)&" ml n"

```

```

1500 IF A$ (<) "V" THEN 1540
1510 LL=DL+TR*2-6
1520 MOVE LSS-.2,LL
1530 GOTO 1560
1540 IF MW=1 THEN 1580
1550 MOVE LSS-.4,DL @ MW=1
1560 LABEL ET$
1570 MOVE LSS,DL
1580 RETURN
1590 INICIA:
1600 FOR S1=1 TO 15
1610 DS(S1),TR1(S1),H1(S1),LSS1(S1),DEL1(S1)=0
1620 NEXT S1
1630 RETURN
1640 !
1650 GRAF3:
1660 FOR RDE=RDE1 TO RDE2 STEP RDE3
1670 MOVE 0,0
1680 FOR LL=RDE4 TO RDE5
1690 DD=12/RDE*LL
1700 PLOT LL,DD
1710 IF LL=11 THEN GOSUB EREL
1720 NEXT LL
1730 NEXT RDE
1740 MOVE 0,0
1750 RETURN
1760 !
1770 ! SUBROUTINA PARA ETIQUETAR RELACIONES DE DELGADEZ
1780 !
1790 EREL:
1800 DEL$="RD="AVAL$ (RDE)
1810 MOVE LL-.4,DD+.5
1820 LABEL DEL$
1830 MOVE LL,DD
1840 RETURN
1850 !
1860 ! SUBROUTINA PARA RESPALDAR DATOS
1870 !
1880 GUARDA:
1890 TR1(S)=TR @ H1(S)=H @ LSS1(S)=LSS @ DEL1(S)=DEL
1900 IF S<15 THEN S=S+1
1910 RETURN
1920 !
1930 ! SUBROUTINA DE IMPRESION DE TABLAS
1940 !
1950 IMPRIME:
1960 PRINTER IS 706,90
1970 PRINT USING "2(K)"; CHR$ (27),"&k3S"
1980 IMAGE 14X,K,//
1990 PRINT USING 2000 ; D$
2000 IMAGE 8X,K,//
2010 PRINT USING "2(K)"; CHR$ (27),"&k4S"

```

```

2020 PRINT USING 2030 ; "DAIOS:"
2030 IMAGE 13X,K, //
2040 PRINT USING 2050 ; "Presion de Operacion :",P,"lb/pg^2 abs"
2050 IMAGE 13X,K,6X,4D,D,4X,K, /
2060 PRINT USING 2070 ; "Temperatura de Operacion :",T," F"
2070 IMAGE 13X,K,3X,3D,D,4X,K, /
2080 PRINT USING 2090 ; "Densidad del aceite : ",DA," API"
2090 IMAGE 13X,K,8X,DD,5X,K, /
2100 PRINT USING 2110 ; "Densidad relativa del gas :",SGG,"adim"
2110 IMAGE 13X,K,4X,Z,3D,2X,K, /
2120 PRINT USING 2130 ; "Gasto de Aceite :",QO,"bl/dia"
2130 IMAGE 13X,K,11X,4D,D,4X,K, /
2140 PRINT USING 2130 ; "Gasto de Gas : ",QG,"MMpcd"
2150 PRINT USING 2160 ; "Combinaciones de di-L"
2160 IMAGE //,20X,K, //
2170 PRINT USING 2180 ; "Tiempo de";"Diametro","Altura del"," Longitud","Relac
ion de"
2180 IMAGE 20X,K,3X,K,3X,K,3X,K,3X,K, /
2190 PRINT USING 2180 ; "Retencion", "          ", "Vol. de liq.", " Total", "  delga
dez"
2200 PRINT USING 2180 ; " (min)", " (pg.)", " (pg.)", " (pies)", ""
2210 PRINT
2220 FOR S1=15 TO 1 STEP -1
2230 PRINT USING 2250 ; TR1(S1),DS(S1),HI(S1),LSS1(S1),DEL1(S1)
2240 NEXT S1
2250 IMAGE 23X,DD,8X,3D,8X,3D,3D,7X,3D,3D,5X,3D,DD
2260 PRINT
2270 IF A$ (<) "V" THEN 2300
2280 PRINT USING 2290 ; "Diametro minimo permisible para el manejo de gas :",DI
2290 IMAGE /,20X,K,X,3D,3D," pgs." //
2300 PRINT USING 2310 ; "De acuerdo al rango de ",RDE1,"a",RDE2,"en la relacion
de delgadez,"
2310 IMAGE //,20X,K,D.D,X,0,X,D.D,X,K, /
2320 PRINT USING 2330 ; "los separadores posibles son :"
2330 IMAGE 20X,K, //
2340 FOR S1=15 TO 1 STEP -1
2350 IF DEL1(S1)<RDE1 OR DEL1(S1)>RDE2 THEN 2390
2360 IF DU=0 THEN 2390
2370 IF DU>DS(S1) THEN 2390
2380 PRINT USING 2250 ; TR1(S1),DS(S1),HI(S1),LSS1(S1),DEL1(S1)
2390 NEXT S1
2400 PRINT USING "2(K)" ; CHR$ (27), "&11V"
2410 RETURN

```

```

10 !
20 ! STORE "TES12.TESIS"
30 ! *****
40 ! *****
50 ! ***** PROGRAMA DE DIMENSIONAMIENTO DE SEPARADORES TRIFASICOS *****
60 ! *****
70 ! *****
80 ! EEDR/LRCH 22/JUL/86
90 DIM B$(15)[71],DS(15),TR1(15),H1(15),LSS1(15),DEL1(15)
100 DIM D$(45),LV$(30),LH$(30),LG$(30),LQ$(30),D1$(30)
110 CLEAR
120 DISP @ DISP @ DISP @ DISP
130 DISP " DESEA REALIZAR UN DISEÑO DE SEPARADORES TRIFASICOS?"
140 DISP @ DISP @ DISP
150 DISP " RESP(S/N)" @ INPUT A$
160 IF A$ (<) "S" AND A$ (<) "N" THEN 110
170 IF A$="N" THEN CHAIN "TES10"
180 DISP "TECLEAR LA PRESION DE OPERACION (PSIA)" @ INPUT P
190 DISP "TECLEAR LA TEMPERATURA DE OPERACION ( F)" @ INPUT T
200 DISP "TECLEAR LA DENSIDAD DEL ACEITE ( API)" @ INPUT DA
210 DISP "TECLEAR LA DENSIDAD RELATIVA DEL GAS " @ INPUT SGG
220 DISP "TECLEAR LA DENSIDAD RELATIVA DEL AGUA" @ INPUT DW
230 DISP "TECLEAR LA VISCOSIDAD DEL ACEITE (cp)" @ INPUT MD
240 DISP "TECLEAR EL GASTO DE GAS (MMpcd)" @ INPUT GC
250 DISP "TECLEAR EL GASTO DE ACEITE (bpd)" @ INPUT GO
260 DISP "TECLEAR EL GASTO DE AGUA (bpd)" @ INPUT QW
270 DISP "DESEA REALIZAR EL DISEÑO DE UN SEPARADOR VERTICAL (V) U HORIZONTAL (H)
" @ INPUT A$
280 IF A$ (<) "H" AND A$ (<) "V" THEN 270
290 GOSUB INICIA
300 !
310 ! CALCULO DE :
320 !
330 X=SGG*P/(T+460) @ Z=DA
340 Y1=(.086144727+.00079491*X-.0000094465*X^2+.415725505-.0000873*X+.00001728*X
^2)*X+((-90642158-.0089429*X+.00016534*X^2)*X^2)
350 Y2=(1.415798+.0354223*X-.00069598*X^2)*X^3+((-1.17925655-.0476709*X+.0009563
3*X^2)*X^4)
360 Y3=(.48610175+.02675289*X-.00054142*X^2)*X^5+((-0.0780217-.0053051*X+.0001077
5*X^2)*X^6)
370 K=Y1+Y2+Y3
380 DO=141.5/(DA+131.5)
390 LH$="Longitud del separador, pies"
400 LV$="Diametro del separador, pg."
410 LG$,LQ$="Diametro minimo permisible"
420 IF A$="V" THEN D1$="Separador Trifasico Vertical"
430 IF A$="H" THEN D1$="Separador Trifasico Horizontal"
440 GOSUB GRAF1
450 DATA 78,84,90,96,102,78,84,90,96,102,78,84,90,96,102
460 FOR S=1 TO 15 @ READ DS(S)@ NEXT S
470 IF A$ (<) "V" THEN 970

```



```

990 !
1000 !   Calculo para la capacidad de gas
1010 !   -----
1020 DILEF=42*K*(T+460)*QG/P
1030 FOR DG=60 TO 102 STEP .1
1040   LEF=DILEF/DG
1050   LSS=LEF/.75
1060   PLOT LSS,DG
1070 IF DG< 70 OR LSS<7 THEN 1100
1080   MOVE LSS-1,DG+1
1090   LABEL LG$
1100 NEXT DG
1110 !
1120 ! Calculo para la capacidad de liquido.
1130 !   -----
1140 S=1 @ DU=0
1150 FOR TR=30 TO 10 STEP -10
1160   MOVE 0,0 @ HW=0
1170   HOMAX=320*TR*(DW-DO)/MO
1180   AWA=.5*QW*TR/(QO*TR+QW*TR)
1190   Z1=.4943522663-2.00639185705*AWA+6.4414867378*AWA^2-18.3625253791*AWA^3+2
6.5933776233*AWA^4
1200   DIMAX=HOMAX/Z1
1210 !
1220   DI2LEF=1.42*(QW*TR+QO*TR)
1230   FOR DL=60 TO 110 STEP .1
1240     LEF=DI2LEF/DL^2
1250     H=.5*DL
1260     LSS=LEF/.75
1270     DEL=12*LSS/DL
1280     PLOT LSS,DL
1290     IF DS(S)=DL THEN GOSUB GUARDA
1300     IF DL<= 100 AND DL<= 100.5 THEN GOSUB ETIQUETA
1310   NEXT DL
1320 NEXT TR
1330 RDE1=3 @ RDE2=5 @ RDE3=1 @ RDE4=1 @ RDE5=40
1340 GOSUB GRAF3
1350 D$="DISEÑO DE UN SEPARADOR TRIFASICO HORIZONTAL"
1360 GOSUB IMPRIME
1370 CLEAR
1380 DISP @ DISP @ DISP @ DISP
1390 DISP "   DESEA REALIZAR OTRO DISEÑO? RESP(S/N)" @ INPUT A1$
1400 IF A1$ <> "S" AND A1$ <> "N" THEN 1370
1410 IF A1$="S" THEN 180
1420 CHAIN "TES10"
1430 END
1440 !
1450 ! SUBROUTINA PARA DIMENSIONAR EL AREA DE LA GRAFICA
1460 !
1470 GRAF1:
1480 PLOTTER IS 705

```

```

1470 LOCATE 20,110,18,90
1500 FRAME
1510 SCALE 5,30,60,110
1520 LAXES -1,1,5,60,5,10,8
1530 MOVE 8,53
1540 CSIZE 5,.6
1550 LABEL LH$
1560 MOVE 3,65
1570 DEG @ LDIR 90 @ LABEL LV$
1580 MOVE 32,105 @ LDIR 270
1590 LABEL D1$
1600 CSIZE 4,.6 @ LDIR 0
1610 RETURN
1620 !
1630 ! SUBROUTINA PARA IMPRIMIR ETIQUETAS A LAS CURVAS
1640 ETIQUETA:
1650 ET$="tr="&VAL$ (TR)A" min"
1660 IF A$ (> "V" THEN 1700
1670 LL=LL-4
1680 MOVE LSS-.2,LL
1690 GOTO 1720
1700 IF MW=1 THEN 1740
1710 MOVE LSS-.6,DL @ MW=1
1720 LABEL ET$
1730 MOVE LSS,DL
1740 RETURN
1750 INICIA:
1760 FOR S1=1 TO 15
1770 DS(S1),TR1(S1),H1(S1),LSS1(S1),DEL1(S1)=0
1780 NEXT S1
1790 RETURN
1800 !
1810 GRAF3:
1820 FOR RDE=RDE1 TO RDE2 STEP RDE3
1830 MOVE 0,0 @ AY=1
1840 FOR LL=RDE4 TO RDE5
1850 DD=12/RDE*LL
1860 PLOT LL,DD
1870 IF DD<65 OR DD>75 THEN 1900
1880 IF AY=1 THEN GOSUB ETREL
1890 AY=0
1900 NEXT LL
1910 NEXT RDE
1920 MOVE 0,0
1930 RETURN
1940 !
1950 ! SUBROUTINA PARA ETIQUETAR RELACIONES DE DELGADEZ
1960 !
1970 ETREL:
1980 DEL$="RD="&VAL$ (RDE)
1990 MOVE LL-.6,DD+.3

```

```

2000 LABEL DEL$
2010 MOVE LL,DD
2020 RETURN
2030 !
2040 ! SUBROUTINA PARA RESPALDAR DATOS
2050 !
2060 GUARDA:
2070 TR1(S)=TR @ H1(S)=H @ LSS1(S)=LSS @ DEL1(S)=DEL
2080 IF S<15 THEN S=S+1
2090 RETURN
2100 !
2110 ! SUBROUTINA DE IMPRESION
2120 !
2130 IMPRIME:
2140 PRINTER IS 706,90
2150 PRINT USING "2(K)"; CHR$(27),"&k3S"
2160 IMAGE 14X,K,//
2170 PRINT USING 2180 ; D$
2180 IMAGE 8X,K,//
2190 PRINT USING "2(K)"; CHR$(27),"&k4S"
2200 PRINT USING 2210 ; "DATOS:"
2210 IMAGE 13X,K,//
2220 PRINT USING 2230 ; "Presion de Operacion :","P","lb/pg^2 abs"
2230 IMAGE 13X,K,6X,4D.D,4X,K,/
2240 PRINT USING 2250 ; "Temperatura de Operacion :","T"," F"
2250 IMAGE 13X,K,3X,3D.D,4X,K,/
2260 PRINT USING 2270 ; "Densidad del aceite : ","DA"," API"
2270 IMAGE 13X,K,8X,DD,5X,K,/
2280 PRINT USING 2290 ; "Densidad relativa del gas :","SGG","adin"
2290 IMAGE 13X,K,4X,Z.3D,2X,K,/
2300 PRINT USING 2290 ; "Densidad relativa del agua :","DW","adin"
2310 PRINT USING 2270 ; "Viscosidad del aceite :","MO"," cp"
2320 PRINT USING 2330 ; "Gasto de Aceite :","QO","bl/dia"
2330 IMAGE 13X,K,11X,4D.D,4X,K,/
2340 PRINT USING 2330 ; "Gasto de Gas : ","QG","HMpcd"
2350 PRINT USING 2330 ; "Gasto de Agua : ","QW","bl/dia"
2360 PRINT USING 2370 ; "Combinaciones de di-L"
2370 IMAGE //,20X,K,//
2380 PRINT USING 2390 ; "Tiempo de";"Diametro","Altura del"," Longitud","Relacion de"
2390 IMAGE 20X,K,3X,K,3X,K,3X,K,3X,K,/
2400 PRINT USING 2390 ; "Retencion","          ","Vol. de liq.," " Total"," delqdez"
2410 PRINT USING 2390 ; " (min)"," (pg.)"," (pg.)"," (pies)",""
2420 PRINT
2430 FOR S1=15 TO 1 STEP -1
2440 PRINT USING 2460 ; TR1(S1),DS(S1),H1(S1),LSS1(S1),DEL1(S1)
2450 NEXT S1
2460 IMAGE 23X,DD,8X,3D,8X,3D.3D,7X,3D.3D,5X,3D.DD
2470 PRINT
2480 IF A$ (<) "V" THEN 2520

```

```
2490 PRINT USING 2500 ; "Diametro minimo permisible para el manejo de gas  :",D
I
2500 IMAGE /,20X,K,2X,3D.3D," pgs."//
2510 PRINT USING 2500 ; "Diam. min. permisible para el asentamiento del agua:";T
DI
2520 IF A$ (<) "H" THEN 2540
2530 PRINT USING 2500 ; "Diam. max. permisible para el asentamiento del agua:";D
IMAX
2540 PRINT USING 2550 ; "De acuerdo al rango de ",RDE1,"a",RDE2,"en la relacion
de delgadez,"
2550 IMAGE //,20X,K,D.D,X,A,X,D.D,X,K,/
2560 PRINT USING 2180 ; "los separadores posibles son :"
2570 FOR S1=15 TO 1 STEP -1
2580     IF DEL1(S1)<RDE1 OR DEL1(S1)>RDE2 THEN 2620
2590     IF DU=0 THEN 2610
2600     IF DU>DS(S1) THEN 2620
2610     PRINT USING 2460 ; TR1(S1),DS(S1),H1(S1),LSS1(S1),DEL1(S1)
2620 NEXT S1
2630 PRINT USING "2(K)" ; CHR$(27),"&11V"
2640 RETURN
```



```

1020     LSS1(S)=LSS
1030     CAL(S)=14*QD*(TS-T)*(.5*DD+.1)/1000000
1040     GOSUB GUARDA
1050     IF LSS>27 AND LSS<28 THEN GOSUB ETIQUETA
1060     NEXT DL
1070     NEXT TS
1080     MOVE 0,0
1090     FOR DL=10 TO 400 STEP 1
1100     LSS=D12LEF/DL^2
1110     PLOT LSS,DL
1120     NEXT DL
1130     MOVE 5,60
1140     LABEL "tr<20 min."
1150     D$="DISEÑO DE UN TRATADOR HORIZONTAL DE CALOR"
1160     GOSUB IMPRIME
1170     CLEAR
1180     DISP @ DISP @ DISP @ DISP
1190     DISP "     DESEA REALIZAR OTRG DISEÑO? RESP<S/N>" @ INPUT A1$
1200     IF A1$ (<) "S" AND A1$ (<) "N" THEN 1170
1210     IF A1$="S" THEN 110
1220     CHAIN "TES10"
1230     END
1240     !
1250     ! SUBROUTINA PARA DIMENSIONAR EL AREA DE LA GRAFICA
1260     !
1270     GRAF1:
1280     PLOTTER IS 705
1290     LOCATE 20,110,10,90
1300     FRAME
1310     SCALE GX1,GX2,GY1,GY2
1320     LAXES -1,FOE,IX1,IY1,IX2,IY2,0
1330     MOVE JX1,JY1
1340     CSIZE 5,.6
1350     LABEL LH$
1360     MOVE JX2,JY2
1370     DEG @ LDIR 90 @ LABEL LV$
1380     MOVE JX3,JY3 @ LDIR 270
1390     LABEL DI$
1400     CSIZE 4,.6 @ LDIR 0
1410     RETURN
1420     !
1430     ! SUBROUTINA PARA IMPRIMIR ETIQUETAS A LAS CURVAS
1440     ETIQUETA:
1450     IF AY3=0 THEN 1510
1460     ET$="T="&VAL$(TS)&" F"
1470     MOVE LSS-.2,DL-2
1480     LABEL ET$
1490     MOVE LSS,DL
1500     AY3=0
1510     RETURN
1520     INICIA:

```

```

1530 FOR S1=1 TO 15
1540 DS(S1),LSS1(S1),CAL(S1)=0
1550 TT(S1),SG(S1),MO(S1),DM(S1)=0
1560 NEXT S1
1570 RETURN
1580 !
1590 ! SUBROUTINA PARA RESPALDAR DATOS
1600 !
1610 GUARDA:
1620 TT(S)=TS @ SG(S)=SG @ MO(S)=MO @ DM(S)=DPW @ DS(S)=DL
1630 IF S<15 THEN S=S+1
1640 RETURN
1650 !
1660 ! SUBROUTINA DE IMPRESION DE TABLAS
1670 !
1680 IMPRINE:
1690 PRINTER IS 706,90
1700 PRINT USING "2(K)" ; CHR$(27),"&k3S"
1710 IMAGE 14X,K, //
1720 PRINT USING 1730 ; D$
1730 IMAGE 8X,K, //
1740 PRINT USING "2(K)" ; CHR$(27),"&k4S"
1750 PRINT USING 1760 ; "DATOS:"
1760 IMAGE 13X,K, //
1770 PRINT USING 1780 ; "Gasto de Aceite :",QD,"bl/dia"
1780 IMAGE 13X,K,11X,4D.D,4X,K, /
1790 PRINT USING 1800 ; "Densidad del aceite : ",DA," API"
1800 IMAGE 13X,K,8X,DD,5X,K, /
1810 PRINT USING 1820 ; "Temperatura de Operacion : ",T," F"
1820 IMAGE 13X,K,3X,3D.D,4X,K, /
1830 PRINT USING 1840 ; "Densidad relativa del agua: ",DW,"adim"
1840 IMAGE 13X,K,4X,Z.3D,2X,K, /
1850 PRINT USING 1860 ; "Combinaciones de di-L"
1860 IMAGE //,13X,K, //
1870 PRINT USING 1880 ; "Temperatura";"Viscosidad "; "Diametro de"; "Diametro del"
,"Longitud de"; "Calor"
1880 IMAGE 13X,K,2X,K,2X,K,2X,K,2X,K,2X,K, /
1890 PRINT USING 1890 ; "de Operac. "; "del aceite "; "la gota agua"; "Tratador"; "
secc.coal"; "Requerido"
1900 PRINT USING 1880 ; " ( F )"; " (cp.)"; " (micras) "; " (pgs.)"; "
(pies)"; " MMbtu/h"
1910 PRINT
1920 FOR S1=1 TO 15
1930 IF TT(S1)+MO(S1)+DM(S1)+DS(S1)+LSS1(S1)+CAL(S1)=0 THEN 1950
1940 PRINT USING 1960 ; TT(S1),MO(S1),DM(S1),DS(S1),LSS1(S1),CAL(S1)
1950 NEXT S1
1960 IMAGE 16X,3D,9X,3D.D,10X,3D.D,6X,3D.D,8X,4D.D,5X,2D.3D
1970 PRINT
1980 PRINT USING "2(K)" ; CHR$(27),"&l1V"
1990 RETURN

```

```

10 !
20 ! STORE "TES14.TESIS"
30 ! *****XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
40 ! *****
50 ! ***** DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES *****
60 ! *****
70 ! *****XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
80 ! EEDR/LRCH 22/JUL/86
90 DIM DS(15),TR(15),LSS1(15),HL(15),DT(10),LP(10),D6$(150)
100 DIM LV$(30),LH$(45),LG$(30),D1$(45),D2$(45),D3$(45),D4$(45),D$(25)
110 DATA 48,60,72,84,96,48,60,72,84,96,48,60,72,84,96
120 DATA 54,60,66,72,78,54,60,66,72,78,54,60,66,72,78
130 DATA 24,28,32,36,40,44,48,52
140 CLEAR
150 DISP @ DISP @ DISP @ DISP
160 DISP " DESEA REALIZAR UN DISEÑO DE EQUIPO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDU
ALES?"
170 DISP @ DISP @ DISP
180 DISP " RESP(S/N)" @ INPUT A2$
190 IF A2$( < ) "S" AND A2$( < ) "N" THEN 140
200 IF A2$="N" THEN 1890
210 CLEAR
220 DISP "TECLEE LA DENSIDAD DEL ACEITE ( API)" @ INPUT DA
230 DISP "TECLEE EL GASTO DE AGUA (b1/d)" @ INPUT QW
240 DQ=141.5/(DA+131.5)
250 GOSUB INICIA
260 CLEAR
270 DISP @ DISP @ DISP
280 DISP " *** TECLEE (0) SI NO CUENTA CON LA INFORMACION PEDIDA ***"
290 DISP @ DISP
300 DISP "TECLEE LA DENSIDAD RELATIVA DEL AGUA PRODUCIDA"
310 INPUT DW@ IF DW=0 THEN DW=1.07
320 DISP "TECLEE LA VISCOSIDAD DEL AGUA PRODUCIDA (cp)"
330 INPUT MW@ IF MW=0 THEN MW=1.1
340 DISP "TECLEE EL CONTENIDO DE ACEITE EN EL AGUA PRODUCIDA (mg/l)"
350 INPUT COAP@ IF COAP=0 THEN COAP=1000
360 DISP "TECLEE LA CALIDAD DEL EFLUENTE DE ACEITE DISPERSO (mg/l)"
370 INPUT CEAD@ IF CEAD=0 THEN CEAD=42
380 DISP "TECLEE EL DIAMETRO MAXIMO DE LA PARTICULA DE ACEITE (micras)"
390 INPUT DMAX@ IF DMAX=0 THEN DMAX=500
400 dm,dm1=CEAD/COAP*DMAX
410 CLEAR @ DISP "EL SISTEMA ES PARA UNA PLATAFORMA MARINA? RESP.(S/N)"
420 INPUT A1#@ IF A1$( < ) "S" AND A1$( < ) "N" THEN 410
430 IF A1$( < ) "S" THEN 540
440 D3$="MARINA"
450 DISP "TECLEE EL GASTO DE AGUA DE SERVICIOS GENERALES DE LA PLATAFORMA (b1/d)
"
460 INPUT QSG@ IF QSG=0 THEN QSG=1500
470 DISP "TECLEE EL RITMO DE PRECIPITACION PLUVIAL (pg/hr)"
480 INPUT RW@ IF RW=0 THEN RW=2
490 DISP "TECLEE EL AREA DE DEPOSITO (PIES^2)" @ INPUT AD

```



```

1000     IF DS(S)=DS THEN GOSUB GUARDA
1010     IF DS=80 THEN GOSUB ETIQUETA
1020     NEXT DS
1030 NEXT TR
1040 GOTO 1340
1050 ! Desnatadores verticales
1060 ! -----
1070 GX1=0 @ GX2=25 @ GY1=50 @ GY2=100
1080 IX1=0 @ IY1=50 @ IX2=5 @ IY2=10
1090 JX1=3 @ JY1=44 @ JX2=-3 @ JY2=53 @ SA=27
1100 LH$="Altura del desnatador, pies"
1110 FOR I=1 TO 2
1120     FOR S=1 TO 15 @ READ DS(S) @ NEXT S
1130 NEXT I
1140 D$="Desnatador Vertical"
1150 GOSUB GRAF1
1160 F=1 @ S=1 @ D1$="Vertical"
1170 DI=SQR (7000*F*QW*MW/((DW-DD)*dm1^2))
1180 FOR LSS=GX1 TO GX2
1190     PLOT LSS,DI
1200 NEXT LSS
1210 MOVE 3,DI+3 @ LDIR 0
1220 LABEL "Diametro minimo permisible"
1230 FOR TR=10 TO 30 STEP 10
1240     MOVE 0,0
1250     FOR DS=50 TO 100 STEP .1
1260         H=.7*TR*QW/DS^2
1270         LE,L=H+3
1280         PLOT L,DS
1290         IF DS(S)=DS THEN GOSUB GUARDA
1300         IF DS=90 THEN GOSUB ETIQUETA
1310     NEXT DS
1320 NEXT TR
1330 MOVE 0,0
1340 ! Diseño de las placas coalescedoras
1350 ! -----
1360 IF QW<3000 OR A1$="N" THEN A6$="PC"
1370 CLEAR @ DISP @ DISP
1380 DISP "          PLACAS COALESCEDORAS"
1390 DISP @ DISP
1400 DISP "          1) Interceptor de placas corrugadas"
1410 DISP "          2) Separador de flujo cruzado"
1420 DISP @ DISP
1430 DISP "          Seleccione una opcion" @ INPUT PC
1440 IF PC(<) 1 AND PC(<) 2 THEN 1370
1450 IF PC=1 THEN D4$="Separador de flujo cruzado"
1460 CLEAR @ DISP @ DISP
1470 DISP "ES BAJA LA PRODUCCION DE SOLIDOS? RESP(S/N)"
1480 INPUT A4$ @ IF A4$ (<) "S" AND A4$ (<) "N" THEN 1460
1490 IF A4$ (<) "S" THEN 1530
1500 NPA=.076*QW*MW/((DW-DD)*dm1^2)

```

```

1510 D5$="BAJA"
1520 GOTO 1550
1530 NPA=.11*QW*MW/((DW-DO)*dm1^2)
1540 D5$="ALTA"
1550 IF A1$ (<) "S" THEN 1820
1560 ! Equipo para plataformas marinas
1570 ! -----
1580 CLEAR @ DISP @ DISP
1590 IF QSG<.356*AD*RW THEN QSG=.356*AD*RW
1600 DT=SQR (.3*(QW+.356*AD*RW)/(DW-DO))
1610 IF DT<24 THEN 1620 ELSE 1640
1620 D6$="NO SE NECESITA UNA TUBERIA PARA AGUA DE DESECHO"
1630 GOTO 1820
1640 IF DT>48 THEN 1680
1650 LT=(HL+HS+4)*DO/(DW-DO)
1660 D6$="TUBERIA PARA AGUA DE DESECHO" @ EQ2=1
1670 GOTO 1820
1680 ! DIMENSIONES DEL TUDO DESHATADOR
1690 IF A2$="V" THEN 1710
1700 FOR S=1 TO 15 @ READ TRES NEXT S
1710 FOR S=1 TO 8 @ READ DT(S)@ NEXT S
1720 S=1 @ D6$="TUBERIA DESHATADORA"
1730 DI2L=1+.3*(QW+.356*AD*RW)
1740 FOR DS=24 TO 48 STEP 4
1750     LP=DI2L/DS^2
1760     IF DT(S)=DS THEN 1800
1770 NEXT DS
1780 L=(HT+HS+4)*DO/(DW-DO)
1790 GOTO 1820
1800 LP(S)=LP @ S=S+1
1810 GOTO 1770
1820 GOSUB IMPRIME
1830 CLEAR
1840 DISP @ DISP @ DISP @ DISP
1850 DISP "     DESEA REALIZAR OTRO DISEÑO? RESP(S/N)" @ INPUT A1$
1860 IF A1$ (<) "S" AND A1$ (<) "N" THEN 1830
1870 IF A1$="S" THEN 210
1880 CHAIN "TES10"
1890 END
1900 !
1910 ! SUBROUTINA PARA DIMENSIONAR EL AREA DE LA GRAFICA
1920 !
1930 GRAF1:
1940 PLOTTER IS 705
1950 LOCATE 20,110,18,90
1960 FRAME
1970 SCALE GX1,GX2,GY1,GY2
1980 LAXES -1,1,IX1,IY1,IX2,IY2,8
1990 MOVE JX1,JY1
2000 CSIZE 5,.6
2010 LABEL LH$

```

```

2020 MOVE JX2,JY2
2030 DEG @ LDIR 90 @ LABEL LV$
2040 MOVE SA,90
2050 LDIR 270 @ LABEL D$
2060 CSIZE 4,.6 @ LDIR 0
2070 RETURN
2080 !
2090 ! SUBROUTINA PARA IMPRIMIR ETIQUETAS A LAS CURVAS
2100 ETIQUETA:
2110 ET$="tr="&VAL$ (TR)&" min"
2120 MOVE LE-.2,DS-TR/5
2130 LABEL ET$
2140 MOVE LE,DS
2150 RETURN
2160 INICIA:
2170 FOR S1=1 TO 15
2180 DS(S1),LSS1(S1),HL(S1),TR(S1)=0
2190 NEXT S1
2200 FOR S=1 TO 10 @ LP(S),DT(S)=0 @ NEXT S
2210 EQ1,EQ2,H=0
2220 A6$,D6$=""
2230 D4$="Interceptor de placas corrugadas"
2240 D2$="Vasija a la atmosfera" @ D3$="Terrestre"
2250 RETURN
2260 !
2270 ! SUBROUTINA PARA RESPALDAR DATOS
2280 !
2290 GUARDA:
2300 TR(S)=TR @ HL(S)=H @ LSS1(S)=L
2310 IF S<15 THEN S=S+1
2320 RETURN
2330 !
2340 ! SUBROUTINA DE IMPRESION DE TABLAS
2350 !
2360 IMPRIME:
2370 PRINTER IS 706,90
2380 PRINT USING "2(K)" ; CHR$ (27),"&k3S"
2390 IMAGE 25X,K,//
2400 PRINT USING 2420 ; "DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO DE TRATAMIENTO DE AGUAS"
2410 PRINT USING 2430 ; " RESIDUALES PARA ZONA ",D3$
2420 IMAGE 8X,K,/
2430 IMAGE 8X,K,K,//
2440 PRINT USING "2(K)" ; CHR$ (27),"&k4S"
2450 PRINT USING 2460 ; "Gasto de Agua . . . . . :","QW","bl/dia"
2460 IMAGE 13X,K,5X,4D,D,4X,K,/
2470 PRINT USING 2480 ; "Densidad relativa del agua . . . . . :","DW"," adim"
2480 IMAGE 13X,K,8X,D,DD,2X,K,/
2490 PRINT USING 2480 ; "Viscosidad del agua producida . . . . . :","MW"," cp"
2500 PRINT USING 2510 ; "Densidad del aceite . . . . . :","DA"," API"
2510 IMAGE 13X,K,7X,DD,6X,K,/
2520 PRINT USING 2530 ; "Contenido de aceite en el agua producida:","COAP"," mg/l"

```

```

2530 IMAGE 13X,K,5X,4D,5X,K,/
2540 PRINT USING 2560 ; "Diametro max. de la particula de aceite :","DMAX," micra
s"
2550 PRINT USING 2560 ; "Calidad del efluente de aceite disperso :","CEAD," ng/l"

2560 IMAGE 13X,K,5X,4D,5X,K,/
2570 IF A1$ (> "S" THEN 2630
2580 PRINT USING 2460 ; "Gasto de agua de servs. grales. de plat.:",QSG,"bl/d"
2590 PRINT USING 2510 ; "Ritmo de precipitacion pluvial . . . . .":",RW,"pg/hr"
2600 PRINT USING 2460 ; "Area de deposito . . . . .":",AD,"pie^2"
2610 PRINT USING 2510 ; "Altura probable de la marea . . . . .":",HT,"pies"
2620 PRINT USING 2510 ; "Cambio del nivel del mar por tormenta .:","HS,"pies"
2630 PRINT @ PRINT @ PRINT
2640 PRINT USING 2650 ; "EQUIPO DISEÑADO - CARACTERISTICAS"
2650 IMAGE 13X,K,//
2660 IF A6$="PC" THEN 3030
2670 PRINT USING 2600 ; " - DESNATADOR"
2680 IMAGE /,13X,K,/
2690 IF A$="H" THEN 2720
2700 PRINT USING 2730 ; "Vertical"
2710 GOTO 2740
2720 PRINT USING 2730 ; "Horizontal"
2730 IMAGE /,38X,K
2740 PRINT USING 2730 ; D2$ @ PRINT
2750 IF A$="V" THEN 2800
2760 PRINT USING 2770 ; "Tiempo de "; "Diametro","Longitud"
2770 IMAGE 38X,K,3X,K,3X,K
2780 PRINT USING 2770 ; "Retencion ", " ", " "
2790 PRINT USING 2770 ; " (min) ", " (pgs)", " (pies) "
2800 PRINT
2810 FOR S1=1 TO 15
2820 1+ TR(S1)+DS(S1)+LSS1(S1)=0 THEN 2840
2830 PRINT USING 2850 ; TR(S1),DS(S1),LSS1(S1)
2840 NEXT S1
2850 IMAGE 40X,3D,10X,3D,D,6X,3D,D
2860 PRINT
2870 GOTO 3020
2880 PRINT USING 2890 ; "Diametro minimo requerido = ",DI," pgs."
2890 IMAGE 38X,K,X,3D,2D,2X,K,/
2900 PRINT USING 2910 ; "Factor de turbulencia empleado = ",F," adim."
2910 IMAGE 38X,K,3X,D,2D,K,//
2920 PRINT USING 2930 ; "Tiempo de "; "Diametro","Altura del","Longitud"
2930 IMAGE 38X,K,3X,K,3X,K,3X,K
2940 PRINT USING 2930 ; "Retencion ", " ", "Liquido ", " "
2950 PRINT USING 2930 ; " (min) ", " (pgs)", " (pies)", " (pies)"
2960 PRINT
2970 FOR S1=1 TO 15
2980 IF TR(S1)+HL(S1)+LSS1(S1)+DS(S1)=0 THEN 3000
2990 PRINT USING 3010 ; TR(S1),DS(S1),HL(S1),LSS1(S1)
3000 NEXT S1

```

```

3010 IMAGE 39X,3D,10X,3D.D,6X,3D.D,7X,3D.D
3020 PRINT USING "2(K)"; CHR$(27),"A11V"
3030 PRINT USING 3040 ; " - PLACAS COALESCEDORAS"
3040 IMAGE 15X,K,/
3050 PRINT USING 3060 ; D4$,"Produccion de arena : ",D5$
3060 IMAGE 38X,K,/,38X,K,2X,K,/
3070 PRINT USING 3080 ; "Numero de Paquete de Placas =",NPA
3080 IMAGE 38X,K,2X,D,3D,/
3090 IF A6$="PC" THEN 3170
3100 PRINT USING 3040 ; " - CELDA DE FLOTACION"
3110 PRINT USING 3120 ; "Eficiencia de separacion de la celda : 90%"
3120 IMAGE 38X,K,/
3130 PRINT USING 3140 ; "Calidad del afluyente : ",CACF," mg/l"
3140 IMAGE 38X,K,4D,2X,K,//
3150 PRINT USING 3040 ; " Seleccione una unidad de las placas coalescedoras o de
desnatadores"
3160 PRINT USING 3040 ; "para utilizarla en combinacion con la celda de flotacio
n" @ PRINT
3170 IF A1$ (<) "S" THEN 3370
3180 PRINT USING 3040 ; " - EQUIPO REQUERIDO PARA PLATAFORMAS MARINAS" @ PRINT

3190 PRINT USING 3120 ; D6$ @ PRINT
3200 IF D6$[1,51]="NO SE" THEN 3370 ELSE 3210
3210 IF EQ2(<) 1 THEN 3260
3220 PRINT USING 3230 ; "Diametro : ",DT," pgs."
3230 IMAGE 38X,K,3D,2D,3X,K,/
3240 PRINT USING 3230 ; "Longitud : ",LT," pies"
3250 GOTO 3370
3260 PRINT USING 3270 ; "Diametro","Longitud de la "
3270 IMAGE 38X,K,2X,K,2X,/
3280 PRINT USING 3270 ; " " "secc. coaleosc."
3290 PRINT USING 3270 ; " (pgs) ", " (pies)"
3300 FOR S=1 TO 10
3310 IF DT(S)+LP(S)=0 THEN 3330
3320 PRINT USING 3340 ; DT(S),LP(S)
3330 NEXT S
3340 IMAGE 38X,3D,3D,4X,4D,3D,/
3350 !
3360 !
3370 PRINT USING "2(K)"; CHR$(27),"A11V"
3380 RETURN

```

CONCLUSIONES

El diseñar un sistema de separación aceite-gas-agua, es una tarea compleja, puesto que se tienen que hacer varias consideraciones e implica una gran inversión, por lo que es necesario realizar un diseño eficiente al más bajo costo.

Para lograr un diseño adecuado de separadores bifásicos y/o trifásicos, el Ingeniero de Producción debe considerar los requerimientos de producción, incluyendo los posibles cambios en los gastos con el tiempo, además de tener presente la producción de sólidos, la formación de parafinas, etc.

Para obtener una eficiente separación bifásica y/o trifásica se debe vigilar que exista una presión óptima de separación, para cada situación en particular, así como proporcionar el tiempo de retención necesario al líquido.

De las comparaciones del método de diseño para separadores bifásicos con el método del Ing. Nolasco, se concluye que las dimensiones calculadas son bastante aproximadas, siempre y cuando las posibles combinaciones seleccionadas - esten dentro del rango de la relación de delgadez establecido, porque fuera de ese rango, los resultados son diferentes, por lo que el método presentado puede utilizarse como una herramienta adicional para el propósito de dimensionar separadores bifásicos y/o trifásicos.

Cabe señalar que el método desarrollado por el Ing. Nolasco es el resultado de un estudio teórico netamente, -- mientras que el método aquí presentado proviene en gran parte de la experiencia de campo.

En los tratadores de calor se debe tener presente - que la temperatura de tratamiento debe seleccionarse considerando la estabilidad de la emulsión, la temperatura del - aceite a la entrada del sistema, la volatilidad del aceite - y el costo de calentamiento, ya que la aplicación de calor - en forma excesiva y los largos tiempos de retención suelen - resultar imprácticos operacional y económicamente.

Siempre debe evitarse calentar el agua libre, puesto que absorbe calor que debiera recibir la emulsión por lo

que es recomendable instalar un eliminador de agua libre antes de los tratadores de calor. Asimismo, los mayores esfuerzos deben enfocarse para aumentar el tamaño de las gotas dispersas y obtener ritmos de separación de fases.

En la deshidratación de crudos, la influencia de los desesulsificantes, el calor y los diferentes mecanismos empleados en el tratamiento de las emulsiones, no separan el agua del aceite, sino simplemente facilitan la acción de las fuerzas gravitacionales.

Se debe considerar seriamente el aspecto ambiental, de tal manera que al planear alguna batería, se le dé la importancia correspondiente al tratamiento de aguas residuales, ya que por lo general se inicia la operación de una batería sin contar con las instalaciones para el tratamiento de aguas residuales. Este tipo de instalaciones no deben interpretarse como inversiones innecesarias y que causen pérdidas, sino por el contrario, son generadores de beneficios económicos, así como de bienestar y salubridad dentro del área de influencia.

Es conveniente concientizar al personal que opera las baterías, infundiéndole un espíritu de responsabilidad, para que exista un buen funcionamiento del equipo utilizado,

puesto que se ha visto que con una actitud de imprudencia o carencia de conocimiento por parte de los operadores y/o encargados de esta labor, provocan ineficiencias en el mismo equipo y por consecuencia en el proceso completo.

Con el empleo de la computadora, se simplificaron -- todos los cálculos rutinarios, ahorrándonos tiempo y desplegando resultados confiables tanto tabulados como gráficos.

Prácticamente con la mínima información requerida se obtienen diseños aceptables, por lo que tanto el método como los programas son versátiles y adaptables a situaciones diversas, dentro de las consideraciones preestablecidas.

El presente trabajo no intenta que los métodos utilizados hasta ahora deban desaparecer o pasen a ser obsoletos, mas bien se puede considerar como un método de diseño capaz de arrojar resultados rápidos y confiables, aun cuando no se tengan datos de laboratorio de los fluidos para determinar la configuración del equipo de tratamiento.

Finalmente, se debe tener en cuenta que los resultados obtenidos son aproximaciones, puesto que se han utilizado correlaciones empíricas y proporcionan un medio para así poder realizar una selección final del equipo que dependerá del criterio y experiencia del Ingeniero de Producción.

Apéndice A

TEORIA SOBRE SEDIMENTACION POR GRAVEDAD

Para que una partícula pueda moverse a través de un fluido se requiere que exista una diferencia de densidades y la participación de las fuerzas que a continuación se mencionan.

- i) Fuerza externa (fuerza por gravedad).

$$F_g = m_p \frac{a_p}{g_o} \quad (i)$$

- ii) Fuerza de flotación (que actúa paralela a las fuerzas externas pero en sentido opuesto).

$$F_f = \frac{\rho_{fc}}{\rho_{fd}} \frac{m_p a_p}{g_o} \quad (ii)$$

- iii) La fuerza de rozamiento (se opone al --

movimiento y actúa en el mismo sentido -- que la fuerza de flotación).

$$F_R = \frac{f A_p \rho_{fc} V_p^2}{2 g_o} \quad (\text{iii})$$

Haciendo un análisis de fuerzas que actúan sobre una partícula que se mueve con una velocidad, por la acción de una fuerza externa a través de un fluido.

$$F_T = F_g - F_f - F_R \quad (\text{iv})$$

Por lo tanto:

$$\frac{m_p}{g_o} \frac{dv}{dt} = m_p \frac{a_p}{g_o} - \frac{a_p m_p \rho_{fc}}{\rho_{fd}} - \frac{f A_p V_p^2 \rho_{fc}}{2 g_o} \quad (\text{v})$$

Despejando (dv/dt) y agrupando términos semejantes -- se tiene:

$$\frac{dv}{dt} = \left(\frac{\rho_{fd} - \rho_{fc}}{\rho_{fd}} \right) a_p - \frac{f A_p \rho_{fc} V_p^2}{2 m_p} \quad (\text{vi})$$

Como en este caso la fuerza aplicada es la gravedad y la partícula a la que nos referimos la consideramos -- esférica, se tiene:

$$a_p = g \quad (\text{vii})$$

$$A_p = \frac{\tilde{\eta}}{4} d_p^2 \quad (\text{viii})$$

$$m_p = \frac{\tilde{\eta} d_p^3}{6} \rho_{fc} \quad (\text{ix})$$

$$\frac{dv}{dt} = \left(\frac{\rho_{fd} - \rho_{fc}}{\rho_{fd}} \right) g - \frac{3f}{4d_p} \frac{\rho_{fc} V_p^2}{\rho_{fd}} \quad (\text{x})$$

Quando $dv/dt = 0$, la fuerza de arrastre se equilibra con la aceleración producida por la gravedad y la partícula caerá con velocidad constante; por lo tanto:

$$V_p = \left[\frac{4}{3} \frac{g d_p (\rho_{fd} - \rho_{fc})}{f \rho_{fc}} \right]^{1/2} \quad (\text{xi})$$

Si el flujo alrededor de la partícula es laminar, -- por lo cual:

$$f = \frac{24}{N_{Re}} \quad (\text{xii})$$

$$\text{Pero: } f = \frac{24 \mu_{fc}}{V_d d_p \rho_{fc}} \quad (\text{xiii})$$

La ecuación (xi) nos queda:

$$V_p = (1.7872) \frac{(d'_p)^2}{\mu_{fc}} (\rho_{fd} - \rho_{fc}) \quad (\text{xiv})$$

La constante depende de las unidades empleadas, así-
se tiene las siguientes ecuaciones:

$$V_p = 1.78 \times 10^{-6} \frac{d_p}{\mu_{fc}} (\gamma'_{fd} - \gamma'_{fc}) \quad (\text{xv})$$

o

$$V_p = 0.0119 \left[\frac{d_p}{f} \frac{(\rho_{fd} - \rho_{fc})}{\rho_{fc}} \right]^{1/2} \quad (\text{xvi})$$

Apéndice B

ECUACIONES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE SEPARADORES BIFASICOS SEGUN EL PROYECTO D-3415

Las siguientes ecuaciones, son las presentadas por el Ing. Jesús E. Nolasco M. en el informe elaborado sobre -- "Estudio de Separación de Gas" Proyecto D-3415. Las ecuaciones que se emplean para dimensionar separadores bifásicos -- son las siguientes:

Separadores verticales.

$$q_{sg} = 4.294 \times 10^6 \frac{P_o}{Z_o(T_o + 460)} \frac{(d_p)^2 (P_o - P_g)}{\mu_g} (d_i)^2$$

$$q_{sl} = 201.420 \frac{(d_i)^2 (h_l)}{B_o t_r}$$

Separadores horizontales.

$$A_f = \frac{\tilde{h} \underline{d}_i}{4} \left[1 - \frac{\text{ang cos} \left(1 - \frac{2h_1}{\underline{d}_i} \right)}{180} \right] + \left(\underline{d}_i h_1 - h_1^2 \right)^{1/2} \left(\frac{\underline{d}_i}{2} - h_1 \right)$$

$$q_{sg} = 7.725 \times 10^6 \frac{P_o}{Z_o (T_o + 460)} \frac{(\underline{d}_p)^2 (\rho_o - \rho_g) (A_f)}{\mu_g}$$

$$q_{sl} = 256.474 \frac{\frac{(\tilde{h}(\underline{d}_i)^2 - A_f)}{4}}{B_o t_r} L$$

Las ecuaciones anteriores solo sufren una modificación en cuanto a unidades (ver nomenclatura), con el fin de que los datos y resultados que se obtengan en el programa, tengan las mismas unidades, que las obtenidas con el diseño propuesto en el capítulo I; para hacer una comparación de -- ambos procedimientos de diseño.

Los factores de conversión que se utilizan son los siguientes:

$$1 \text{ pie}^2 = 9.2903 \text{ E}+10 \text{ (micra)}$$

$$1 \text{ pie}^2 = 144 \text{ pg}^2$$

$$1 \text{ cp} = 6.7197 \times 10^{-4} \frac{\text{Lb m}}{\text{pie} \cdot \text{seg}}$$

$$1 \text{ MM} \frac{\text{pie}^3}{\text{día}} = 1,000,000 \frac{\text{pie}^3}{\text{día}}$$

Las ecuaciones que se obtienen aplicando los factores de conversión son:

Separadores verticales.

$$q_{sg} = 4.77661 \times 10^{-10} \frac{P_o}{Z_o (T_o + 460)} \frac{(d_p)^2 (\rho_p - \rho_g) (d_i)^2}{\mu_g}$$

$$q_{sl} = 0.1165625 \frac{(d_i)^2 (h_1)}{B_o t_r}$$

Separadores horizontales.

$$A_f = \frac{\bar{h}(d_i)^2}{576} \left[1 - \frac{\text{ang} \cos \left(1 - \frac{2d_i}{h_1} \right)}{180} \right] + \frac{1}{144} (d_i h_1 - h_1^2)^{1/2} \left(\frac{d_i}{2} - h_1 \right)$$

$$q_{sg} = 1.23744 \times 10^{-7} \frac{P_o}{Z_o (T_o + 460)} \frac{(d_p)^2 (\rho_o - \rho_g) (A_f)}{\mu_g}$$

$$q_{sl} = 256.474 \frac{\left(\frac{\bar{h}(d_i)^2}{576} - A_f \right)}{B_o t_r} L$$

NOMENCLATURA

<u>EN TEXTO</u>	<u>EN PROGRAMAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>
A		Area de sección transversal - del sep. trifásico horizontal (pg^2).
A_f		Area de flujo a través de la vasija (pie^2).
A_D	AD	Area de la plataforma (pie^2).
A_o		Area de sección transversal - correspondiente al aceite en un sep. trifásico horizontal - (pg^2).
A_p		Area de sección transversal - de la partícula (pie^2).
A_v		Area de sección transversal - de la vasija (pg^2).
A_w	AWA	Area de sección transversal -

<u>EN TEXTO</u>	<u>EN PROGRAMAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>
		correspondiente a la capa de agua en un sep. trifásico horizontal (pg^2).
a_p		Aceleración de la partícula - (pie/seg^2).
B_o		Factor de volumen del aceite.
d_i		Diámetro de la vasija (pie).
d_i	DS	Diámetro de la vasija (pg).
d_{it}	DT	Diámetro interno de la tubería para desecho (pg).
d_{max}	DMAX	Diámetro máximo de la partícula (micras).
d_o		Diámetro de la partícula de aceite (micras).
d_p		Diámetro de la partícula ---- (pie).
d_p	dm	Diámetro de la partícula (micras).
d_w	DPW	Diámetro de la partícula de agua (micras).
$(d_i)_{max}$	DIMAX	Diámetro interno máximo del separador trifásico horizontal (pg).

<u>EN TEXTO</u>	<u>EN PROGRAMAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>
(d_i) min	DI	Diámetro interno mínimo permisible para la capacidad de -- gas en los separadores verticales (pgs).
E_a	CEAD	Calidad del efluente (adim).
F	F	Factor de turbulencia y corto circuito (adim).
F_f		Fuera de flotación (Lbf).
F_g		Fuerza de gravedad (Lbf).
F_r		Fuerza de rozamiento (Lbf).
F_T		Fuerza total que actua sobre una partícula (Lbf).
g		Aceleración por gravedad ---- (pie/seg ²).
g_o		Constante gravitacional (Lbm-pie/Lbf-seg).
H		Altura de la sección de las - placas coalescedoras (pie).
H_{CW}	H	Altura de la columna de agua- en un tanque desnatador cilíndrico vertical (pie).
H_p		Altura del paquete de placas- (pie).

EN TEXTO	EN PROGRAMAS	DESCRIPCION
h_c	LSS1	Altura de la sección de coalescencia de los tratadores de calor (pg).
h_e		Espesor de la capa de emulsión (pg).
h_1		Altura del nivel del líquido (pie).
h_1	H1	Altura del nivel del líquido (pg).
h_o	THO	Espesor de la capa de aceite (pg).
$(h_o)_{max}$	HOMAX	Espesor máximo permisible de la capa de aceite en el separador trifásico (pg).
h_p		Distancia perpendicular entre las placas coalescedoras (pg).
h_s	HS	Cambio de nivel del mar por tormenta (pie).
h_t	HT	Cambio de nivel del mar por marea (pie).
h_w	THW	Espesor de la capa de agua desde el drene hasta la interfase aceite-agua (pg).
h_{wc}		Espesor de la capa de agua (pg).

<u>EN TEXTO</u>	<u>EN PROGRAMAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>
K	K	Constante para el diseño de - separadores bifásicos y trifá- sicos (adim).
L	LSS	Longitud total de la vasija - (pie).
L_d	LP	Longitud de la tubería para - la sección de las placas des- natadoras (pie).
L_e	LEF	Longitud efectiva de la vasi- ja (pie).
L_f		Longitud de la sección de coa- lescencia (pie).
L_p		Longitud del paquete de pla-- cas coalescedoras (pie).
L_t	L	Profundidad de la tubería aba- jo del nivel principal del -- mar (pie).
m_p		Masa de la partícula (Lbm).
N_{Re}		Número de Reynolds (adim).
P_o	P	Presión de operación ($\frac{Lbf}{Pg^2}$ abs).
A_p		Caida de presión ($\frac{Lbf}{Pg^2}$ abs).
Q	CAL	Ritmo de flujo de calor (Btu/ h).

<u>EN TEXTO</u>	<u>EN PROGRAMAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>
q_g	QG	Gasto de gas (MM Pie ³ /día).
q_L		Gasto de líquido (bl/día).
q_o	QO	Gasto de aceite (bl/día).
q_{gs}		Gasto de gas a través del separador P_o y T_o (Pie ³ /día).
q_{ga}		Gasto de gas a través del separador P_o y T_o (MM Pie ³ /día).
q_{lv}		Gasto de líquido a través del separador P_o y T_o (bl/día).
q_{sg}	QSG	Gasto de agua de servicios generales en plataforma (bl/día).
q_w	QW	Gasto de agua producido (bl/día).
q_{wr}		Gasto de agua residual (bl/día).
R_D	DEL	Relación de delgadez (adim).
R_w	RW	Precipitación pluvial (pg/hora).
T	TS	Temperatura del aceite °F.
T_o	T	Temperatura de operación °F.
ΔT		Incremento de temperatura °F.
t_r	TR	Tiempo de retención (min).
$(t_r)_o$		Tiempo de retención del aceite (min).

<u>EN TEXTO</u>	<u>EN PROGRAMAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>
$(t_r)_w$		Tiempo de retención del agua - (min).
V_o		Velocidad de asentamiento de las gotas de aceite (pie/seg).
V_p		Velocidad vertical de la partícula (pie/seg).
W		Ancho del tanque desnatador - (pie).
W_p		Ancho del paquete de placas - (pie).
Z		Factor de compresibilidad del gas.
Z_1	Z1	Coefficiente para dimensionamiento de separadores trifásicos.
γ_w	DW	Densidad relativa del agua.
γ_{ro}	DO	Densidad relativa del aceite - (agua=1).
γ_g	SGG	Densidad relativa del gas.
γ_o	DA	Densidad relativa del aceite - (°API).
θ		Angulo de inclinación con respecto a la horizontal del pa-

<u>EN TEXTO</u>	<u>EN PROGRAMAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>
		quete de placas.
μ_g	MG	Viscosidad del gas (cp).
μ_g		Viscosidad del gas (lbm/pie-seg).
μ_{fc}		Viscosidad de la fase continua (lbm/pie-seg).
μ_o	MO	Viscosidad del aceite (cp).
μ_w	MW	Viscosidad del agua (cp).
ρ_{fc}		Densidad de la fase continua (lbm/pie ³).
ρ_L		Densidad del líquido.
ρ_g		Densidad del gas.
ρ_w		Densidad del agua (gr/cm ³).
σ		Tensión superficial (dinas/cm).

BIBLIOGRAFIA

1. Arnold Ken and M. Stewert, Jr. Designing, Oil and Gas Production Systems-How to size and select two-Phase Separators.
World Oil, November 1984. pp73-78.
2. Garaicochea P. Francisco y Nolasco M. Jesús E., -
criterio para seleccionar las condiciones de-
separación de aceite y gas.
Trabajo propuesto para su presentación en el-
XVI Congreso Nacional de la AIPM.
3. M. Campbell John, Dr., Gas Conditioning and Processing. Vol. I.
Campbell Petroleum Series, 1979.
4. Nolasco M. Jesús E., Estudio de Separación de Gas-

Proyecto D-3450.

Instituto Mexicano del Petróleo, Enero 1977.

5. Poole Lon, Borchers Mary y Donahue Carroll, algunos programas de uso común en basic.
Ed. Mc. Grow Hill, 1983.

6. Arnold Ken and M. Stewart. Jr. Designing, Oil and Gas Production Systems-How to size and select Three-Phase Separators.

7. Frick C. Thomas, Petroleum Production Handbook-Vol. I.
Society of Petroleum Engineers of AIME, 1966.

8. I. Tellez José, Selección del proceso y equipo -- para deshidratar y desalar crudos.
Ingeniería Petrolera, Octubre de 1978, pgs. - 29-40.

9. Arnold Ken and M. Stewart Jr., Designing Oil and Gas Production Systems-Determining heater --- treater sizes heat requeriments.
World Oil, March 1985, pp 69-76.

10. Beggs, H.D. and Robinson J.R., Estimating the viscosity of crude oil systems.
J.P.T. September 1975, pp 1140-1141.
11. Hinze, J.O, Fundamentals of the hidrodynamics of splitting in the dispersion processes.
AICHEJ. September 1955, pp 289-295.
12. Arnold Ken and M. Stewart, Jr., Designing Oil and Gas Production Systems-How to size and select produced-water treating equipment.
World Oil, March 1985, pp 69-78.
13. Manual on disposal of refinery wastes, waste sater
Containing Oil-Vol. I 7o. Edición, 1963.
American Petroleum Institute.
14. Picazo Garcés Sergio Eduardo, evaluación y selección de los sistemas de tratamiento para separación de aceite de aguas residuales y su --- aplicación en la industria petrolera.
Tesis que presenta para obtener el grado de -
Maestro de Ingeniería, 1983.
15. Arnold Ken, Design concepts for offshore produce-

water treating and disposal systems.

J.P.T., February 1983, pp 276-283.

16. Arnold Ken and M. Stewart Jr., Designing Oil and Gas Production Systems-Selecting a Waste Water Treating System.

World Oil, May 1985, pp 91-98.

17. Legislación relativa al agua y su contaminación.

SARH, México, 1976.