

2ej
17



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

“Desarrollo de la Ingeniería Básica
de un sistema de separación agua
aceite para tratar los efluentes
de la Unidad Petroquímica de
Cd. Camargo Chih.”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

PRESENTA

Enrique Lara Martínez

DIRECTOR DE TESIS: ING. LUIS VEGA GARCIA

Cuautitlán Izcalli, Méx.

1986



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.

INDICE

Páginas

I.- Introducción.....	1
II.- Objetivo.....	7
III.- Efectos del agua aceitosa sobre el cuerpo receptor.....	11
IV.- Generalidades sobre separación de aceite por diferencia de densidades.....	15
IV.1.Desarrollo de la ecuación básica.....	15
IV.1.1. Introducción a los separadores agua-aceite.....	21
IV.2. Separador API (American Petroleum Institute)----	23
IV.3. Separador de placas paralelas.....	34
IV.4. Separador de placas corrugadas.....	41
IV.5. Separador de placas coalescentes.....	45
V.- Bases de diseño.....	52
1.- Localización del complejo.....	52
2.- Condiciones climatológicas y datos del lugar.....	53
3.- Condiciones del agua de desecho (influyente).....	55
4.- Condiciones requeridas para el efluente.....	55

VI.- Selección y calculo del separador-----	56
VII.- Integración del sistema de separación-----	59
VII.1. Descripción del proceso.-----	59
VII.2. Instalaciones mínimas necesarias.-----	63
VIII.- Conclusiones.-----	65
IX.- Bibliografía.-----	69

I.- INTRODUCCION

Chihuahua, el estado más grande de la República Mexicana, es por varias razones, territorio que dispone de un potencial muy prometedor. Su area territorial es de 247,087 kilometros cuadrados, la cual es comparable a la de Alemania Occidental y tiene una población de sólo tres millones de habitantes aproximadamente. Limita al Norte con Estados Unidos de Norteamérica (figura I-1); al sur con Durango y Sinaloa, al Oeste con Sonora y al Este con Coahuila.

Es un estado muy accidentado. De la Barranca más profunda se pasa a cimas prominentes. Teniendo como marco un mismo paisaje, se manifiestan violentos contrastes que dan a la entidad un panorama vigoroso y lleno de belleza.

Es explicable, por lo tanto, que la conjugación de un territorio tan vasto, produzca una gran diversidad de regiones naturales: Hay zonas verdes de una fertilidad asombrosa; zonas desérticas con enormes áreas arenosas y zonas montañosas que ofrecen valiosas especies maderables y paisajes de una belleza impresionante (La Barranca del Cobre, por ejemplo).

Son cinco o seis los tipos fundamentales de climas del estado. Destacan el desértico y el estepario. El primero domina toda la región oriental, desde el Río Bravo hasta los límites con Durango. El otro, el estepario, se deja sentir en una amplia faja del centro del estado, que desciende del Noroeste hacia el Sur.

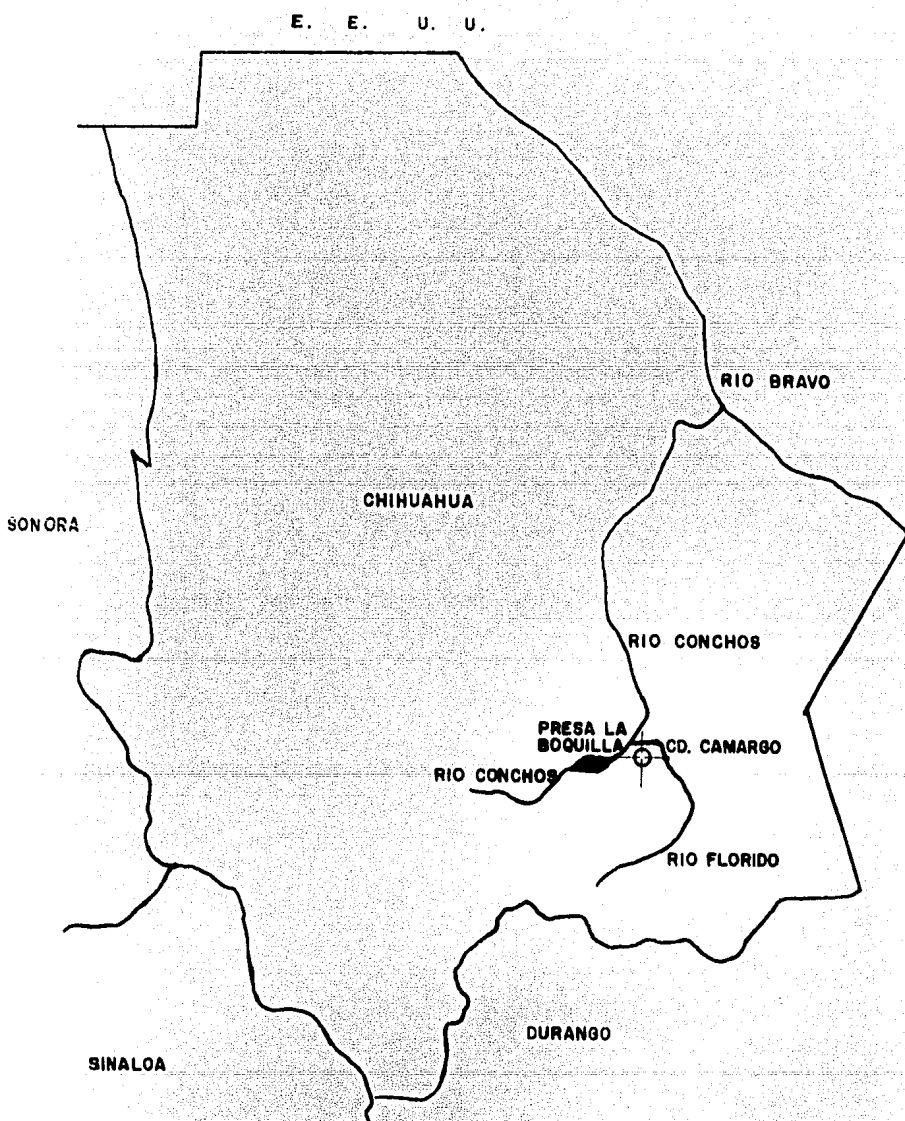


FIG. 1.1. LOCALIZACION DE LA UNIDAD PETROQUIMICA DE CD. CAMARGO, CHIH.

Los demás climas (región de la Sierra Madre Occidental y proximidades) son en lo general de montaña, con oscilaciones muy marcadas entre una estación y otra. Van desde los fríos más intensos hasta los calores más sofocantes.

La precipitación pluvial oscila entre 300 y 200 mm. anuales. Para notar que tan baja es esta, habría que considerar que es muy reducida el área que se beneficia con una precipitación de 500 a 800 mm, apenas representa la tercera parte de la superficie del estado. Esta porción corresponde al Suroeste, en los límites con Sonora y Sinaloa. Hay partes del estado, principalmente la central y un pequeño triángulo del oriente, límite con Coahuila, donde la precipitación promedio es de 300 a 500 mm. El resto de la entidad tiene una precipitación muy escasa.

Chihuahua, sin embargo, cuenta con sus ríos. Es cierto que muchos de ellos no son, precisamente muy caudalosos; pero también lo es que en su conjunto integran una vasta red que producen grandes beneficios a la economía del estado. Todos ellos corresponden a tres vertientes: La del Pacífico, la del Golfo y la interna.

Los de la primera vertiente son excesivamente impetuosos y por lo tanto, resultan poco aprovechables. Los de la segunda son ríos de aprovechamiento menos difícil. Sobresalen El Nogal, El Conchos, El Chuvíscar, El Satevó, El Santa Isabel y El Florido, éste último en ciertas temporadas completamente seco; y en la vertiente interna, El Casas Grandes

es de indiscutible notoriedad e importancia.

Para completar el sistema hidrológico del estado, cabría señalar la existencia de algunos lagos, como el Toronto, y de las lagunas de Guzmán y de Juanota.

En la entidad se practica la ganadería y la agricultura; la primera casi en toda la entidad. Las áreas agrícolas más importantes del estado son Delicias, Camargo, Jiménez, Valle de Juárez, Enriquez, Casas Grandes, Palomas y los Valles de los ríos Santa María y Carmen.

Hay cuatro distritos de riego: Delicias, Juárez, Papigochic y Buenaventura, en los que se cultiva principalmente algodón, trigo, maíz, sorgo, alfalfa y cacahuate. En la superficie de temporal se cultiva maíz, frijol y avena. La fruticultura representa para el estado una actividad económica especial.

Las condiciones ecológicas prevalecientes no hacen de Chihuahua una entidad para el desarrollo de la agricultura, con excepción, de pequeñas áreas de riego.

En términos generales puede afirmarse que las condiciones en que se desenvuelve la agricultura de la entidad son adversas; más de las cuatro quintas partes de las tierras potencialmente utilizables corresponden a zonas de temporal; y de éstas, alrededor del 90%, son poco propicias para su desarrollo, fundamentalmente por la insuficiencia de recursos acuíferos.

En las zonas de riego, el progreso agrícola obedece a -

los siguientes factores:

- a) Utilización de nuevos métodos de siembra, protección, cosecha y distribución.
- b) Integración intensiva y creciente de insumos modernos.
- c) Semillas mejoradas.
- d) Uso de Fertilizantes.

Siendo uno de los más importantes el correspondiente al uso de los fertilizantes.

Petróleos Mexicanos conciente de esta problemática, inicia en Cd. Camargo la construcción de una planta de amoniaco de 400 toneladas/día en el año de 1966 y casi simultáneamente, a principios de 1967, Guanos y Fertilizantes de México - (ahora Fertimex) empezó a instalar una planta de Urea. Con lo anterior se daba el primer paso para abastecer de Fertilizantes a la zona agrícola de Cd. Camargo.

La planta de Pemex no parece estar muy bien localizada. Desde el punto de vista de materia prima que utiliza (gas natural), probablemente hubiese sido más aconsejable instalarla en Reynosa, lugar de origen del gas; y en lo que a la distribución de su producción se refiere, Torreón hubiese sido más ventajoso. Se eligió Cd. Camargo, sin embargo, siguiendo el criterio, sin duda, de promover la industrialización del estado, de crear nuevas fuentes de ocupación y de surtir la demanda existente de amoniaco para la fabricación de Fertilizantes.

En los últimos años se ha observado que la demanda de

fertilizantes ha ido rebasando a la oferta, por lo que Pemex ha planeado la instalación de una nueva planta de amoniaco en Cd. Camargo con una capacidad de 1500 toneladas por día que abastecerá de este petroquímico básico a la también nueva planta de Fertimex. Con esto se conseguirán beneficios para la entidad como:

- a) Creación de nuevas fuentes de empleo.
- b) Mayor industrialización.
- c) Impulso a la agricultura.

Independientemente de las ventajas arriba señaladas, es importante indicar que Petróleos Mexicanos, conciente de los problemas que representa la contaminación que podría generarse en sus procesos de fabricación de amoniaco, complementará en la unidad petroquímica de Cd. Camargo, su actual sistema de tratamiento de efluentes. Con lo anterior se garantizará el no deterioro del Río Florido, el cual es el cuerpo receptor de las aguas residuales ya tratadas de dicho centro de trabajo.

Uno de los contaminantes que se generan en el proceso de elaboración de amoniaco, es el agua aceitosa que proviene principalmente de la sección de compresión de dichas plantas. El aceite se utiliza como agente lubricante y se purga normalmente, captándose en una red general de drenaje aceitoso.

El objeto de este trabajo será dar los datos básicos de diseño del sistema de separación de aceite de la unidad petroquímica de Cd. Camargo, incluyendo su integración.

II.- OBJETIVO

Elaborar la ingeniería básica necesaria para desarrollar un sistema integral de separación de aceite que capte, conduzca y trate las aguas residuales que se generen en la unidad - petroquímica de Cd. Camargo, Chih., ver tabla II-1. De esta manera se garantizará que el efluente ya tratado cumpla con:

- a) EL NO REBASAR LOS "LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES FIJADOS POR LA SARH COMO CONDICIONES PARTICULARES PARA LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN EL RIO FLORIDO"

Estos límites máximos específicos por contaminación de aceite de la UPQ de Cd. Camargo, Chih., son:

	ppm
Promedio mensual de ocho muestras:	10
Ninguna muestra individual excederá de:	15

- b) LA CONSERVACION DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA USO DOMESTICO.

Se debe procurar que el agua del cuerpo receptor no adquiera olor, sabor y no llegue a ser tóxica.

- c) EL MANTENER SIN CONTAMINACION POR ACEITE EL AGUA QUE SE USA PARA LA SUPERVIVENCIA DE FLORA Y FAUNA ACUATICAS.

Peces, otros animales y plantas de vida acuática son fuente importante de alimentos y funcionan como agencias naturales de purificación de agua. Estos pueden ser adversamente afectados por la contaminación y pueden llegar a

ser totalmente acabados si esta es excesiva.

d) EL NO AFECTAR EL BUEN ESTADO DEL AGUA REQUERIDA PARA FINES ESTETICOS Y SANITARIOS.

Aguas contaminadas son frecuentemente desagradables a la vista y fuente de malos olores. Son una molestia para quienes viven o trabajan en ese vecindario y además - tienen un bajo valor recreativo. En casos extremos, tales aguas llegan a ser una amenaza a la salud pública.

e) EL CONSERVAR EL AGUA EN CONDICIONES FAVORABLES PARA USO INDUSTRIAL, AGRICO Y GANADERO.

El agua contaminada deberá ser tratada antes de ser utilizada para estos fines tan importantes para la región.

Con la finalidad de cumplir el objetivo antes descrito, primero se hará un análisis de los principios básicos que rigen la separación agua-aceite. Dentro de estos principios básicos se estudiarán los diferentes tipos de separadores y así, poder seleccionar el más adecuado, que permita cumplir con las especificaciones. Posteriormente se establecerán las bases de diseño y con estas se calculará el separador que antes fue seleccionado. Ya teniendo bien especificado el separador, se integrará todo el sistema de separación, haciendo mención de las instalaciones mínimas necesarias.

TABLA II-1

GASTOS DE AGUAS ACEITOSAS TRIBUTARIAS.

Fuente de Emisión	Contaminante	Gasto m ³ /día.	
		normal	máximo
Planta de Amoniaco I	agua	250.0	325.0
	aceite	0.4	3.2
Planta de Amoniaco II	agua	285.0	370.0
	aceite	0.03	1.0
Turbinas de Servicios Auxiliares	agua	100.0	120.0
	aceite	0.01	0.5
Area de Almacenamiento y manejo de aceite.	agua	0	50.0
	aceite	0	0.01
TOTALES	agua	635.0	865.0
	aceite	0.44	4.71

NOTA: Estos son datos proporcionados por PEMEX de plantas se mejantes localizadas en el complejo petroquímico de Co soleacaque, Ver.

CORRIENTE		1	2	3	4	5
CARACTERISTICAS	AGUA	250-325	285-370	100-120	0-50	635-865
	ACEITE	0.4-3.2	0.03-1.0	0.01-0.5	0-0.01	0.44-4.71
TEMPERATURA		AMBIENTAL				
PRESION		ATMOSFERICA				

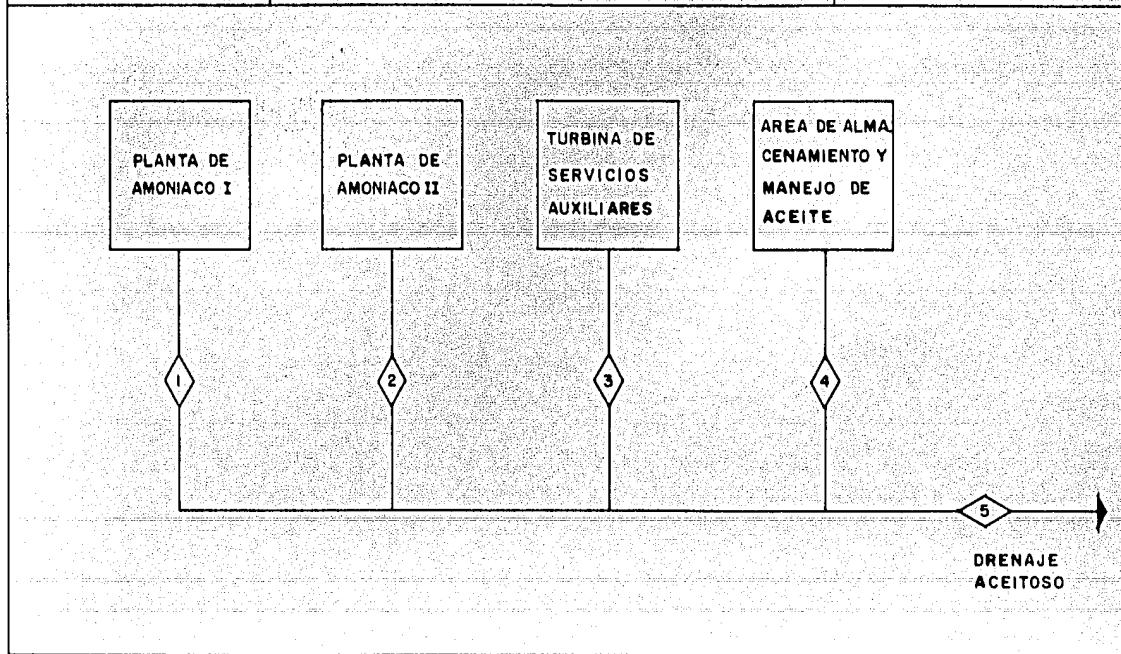


FIG. II. 1. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LAS FUENTES DE EMISION AL DRENAJE ACEITOSO.

NOTA: EL DRENAJE ACEITOSO DESPUES DE SER TRATADO SE UNE AL DRENAJE PLUVIAL.

III.- EFECTOS DEL AGUA ACEITOSA EN EL CUERPO RECEPTOR.

Contrario a opiniones, el aceite flotante en el agua no presenta un serio peligro de fuego. La gasolina derramada sobre la superficie del agua puede inflamarse rapidamente y - presentar un real peligro pero, es debido a que se extiende y se evapora rapidamente. Cuando llega a prenderse la película superficial, el fuego es usualmente de poca duración. El aceite residual de las plantas industriales normalmente no presenta riesgo de fuego y cuando llegan a presentarse derrames de combustible aceitoso espeso, es casi imposible que estos se inflamen.

El aceite visible sobre la superficie del agua, ya sea de río, lago o mar, es siempre desagradable desde el punto de vista estético y recreativo. Aún en concentraciones bajas de hidrocarburos disueltos o en emulsiones se pueden producir problemas de olor y sabor desagradables.

El material aceitoso que se encuentra en el agua puede cubrir el plumaje de las aves, las agallas de peces, y se adhiere a la superficie de pequeños organismos marinos. Bajas concentraciones de hidrocarburos en agua dan un desagradable sabor a la carne de pescado.

Las gruesas capas superficiales de aceite sobre el agua, interfieren en los procesos naturales de aereación y fotosíntesis. El aceite libre y las emulsiones cubren y destruyen - algas y muchas otras plantas, por lo tanto, eliminan una fuente de alimentación de los peces con lo que se pone en peligro

el funcionamiento del ciclo ecológico.

El API (American Petroleum Institute), volumen I, cap. 2 señala que una película de aceite, proveniente del agua de desecho de una refinería de la Unión Americana, podría no dañar la utilidad del agua para propósitos de irrigación. Hidrocarburos, particularmente los de tipo aromático, los cuales son altamente tóxicos, son extensamente usados en el control de crecimiento de la hierba en los canales de irrigación y dan buenos resultados siempre y cuando se use en las cantidades y formas adecuadas.

Probablemente el aspecto más serio de la contaminación de los ríos por aceite es la posibilidad de perjudicar el agua que se emplea para beber.

La toxicidad de los derivados del petróleo está muy relacionada con su punto de ebullición; sobre todo las que destilan abajo de 150°C, incluyendo éter de petróleo, nafta y benceno. Estos son venenosos cuando se ingieren o se inhalan sus vapores. Dosis tan bajas como 8-10 g de petróleo, han resultado tóxicas para niños. Un bocado de Kerosina, aproximadamente media onza, ha matado a un niño de tres años en siete horas, mientras que 1 1/4 onzas mató a un niño de catorce meses en dos horas. En adultos la inhalación de vapores del petróleo en una concentración de 1/1000 partes produce somnolencia en quince minutos, vértigo y ataxia en una hora. En perros una concentración de 10/1000 partes ha causado convulsiones y 25/1000 partes, la muerte.

En comparación con lo anterior y debido a la prevención que dan el sabor y el olor desagradables de las aguas aceitosas, se ha observado que el riesgo de envenenamiento en humanos y otros animales es mínimo aunque no deja de ser un peligro latente. En la tabla III-1 se pueden ver las concentraciones mínimas que producen olor.

Garantizar reducir la concentración de aceite en el efluente a los "Límites máximos permisibles fijados por la SARH como condiciones particulares para las descargas de aguas residuales en el Río Florido", significa evitar todos los problemas que provoca el aceite en el agua y que anteriormente fueron mencionados.

Al comparar las concentraciones de la tabla III-1 con las permisibles marcadas en la página 7, se observa que las primeras son menores, lo que significa que el efluente después de tratarse tendrá olor a aceite. Esto no representa peligro, ya que el efluente del separador cumplirá con los límites máximos permisibles y se diluirá al mezclarse con el drenaje pluvial y con la red general de drenaje.

TABLA III-1 Concentraciones mínimas de diferentes hidrocarburos que provocan olor en el agua.

Producto	Concentración mínima que produce olor (mg/l)
Petróleo crudo	0.1-0.5
Petróleo refinado	1-2
Kerosina deodorizada	0.082
Gasolina comercial	0.005
Aceite combustible	0.22
Aceite de calentamiento	0.3-0.6
Diesel	0.0005
Aceite lubricante	0.5

IV.- GENERALIDADES SOBRE SEPARACION DE ACEITE-AGUA POR
DIFERENCIA DE DENSIDADES.

IV. 1.- Desarrollo de la ecuación básica.

Los principios básicos de la separación por diferencia de densidades se fundamentan en la ley de Stokes, que dice: "Cuando una partícula se mueve libremente en un fluido y está sujeta a la fuerza gravitacional, la velocidad de ascenso ó sedimentación con respecto al fluido llega a ser constante cuando la resistencia al movimiento se iguala al peso efectivo de la partícula". Es decir "La resistencia al movimiento de una partícula en un medio fluido, es igual al peso efectivo de la partícula cuando la velocidad terminal ha sido alcanzada". La ecuación que describe la resistencia que presenta un fluido al movimiento de una pequeña partícula esférica en régimen laminar, según Stokes es:

$$D_f = 3\pi \mu V_t D \text{ -----(IV.1-1)}$$

D_f = Resistencia al movimiento de la partícula en medio líquido, en dinas.

μ = Viscosidad absoluta del medio líquido a la temperatura de operación, en poises. (g/cm-seg).

V_t = Velocidad de ascenso ó sedimentación de la partícula, en cm/seg.

D = Diámetro de la partícula, en cm.

Esta ecuación se obtiene de la resolución analítica de las ecuaciones de continuidad y de movimiento.

La ecuación para el peso efectivo de la partícula es:

$$W = \left(\frac{\pi D^3}{6}\right) (\rho_w - \rho_o) g \quad \text{----- (IV.1-2)}$$

Donde:

W = Peso efectivo de la partícula en el líquido.

ρ_w = Densidad del líquido, en g/cm³

ρ_o = Densidad de la partícula, en g/cm³.

g = Aceleración causada por fuerza de la gravedad,

$$981 \frac{\text{cm}}{\text{seg}^2}$$

Para obtener la velocidad terminal de ascenso o descenso, según la Ley de Stokes, se iguala la resistencia al movimiento de la partícula (ecuación IV.1-1) con su peso efectivo (ecuación IV.1-2). $\left(\frac{\pi D^3}{6}\right) (\rho_w - \rho_o) g = 3 \pi \mu V_t D$.

$$V_t = \frac{\pi D^3 (\rho_w - \rho_o) g}{(6)(3) \pi \mu D}$$

$$V_t = \frac{D^2 (\rho_w - \rho_o) g}{18 \mu} \quad \text{----- (IV.1-3)}$$

La expresión anterior es la Ley de Stokes para la velocidad terminal de ascenso o descenso de partículas individuales en un fluido.

Esta ecuación, debe incluir una corrección debido a la deformación que sufren los glóbulos de aceite a medida que ascienden a través de un medio líquido. Este cambio de forma resulta del flujo interno, de tal modo que disminuye la resistencia al movimiento de la partícula, resultado una velo

cidad de ascenso mayor. W.N. Bond [Phil. Mag 7 [4] 889(1927)]
 ha expresado este efecto en términos de las viscosidades de
 la partícula y del medio como sigue:

$$C = \frac{2/3 + \mu_1/\mu_2}{1 + \mu_1/\mu_2} \text{-----(IV.1-4)}$$

C = Coeficiente de deformación de la partícula, adimensional.

μ_1 = Viscosidad absoluta de la partícula, poises.

μ_2 = Viscosidad absoluta del medio poises.

Si esta corrección para flujo interno se aplica a la ecuación (IV.1-3) la ley de Stokes para determinar la velocidad de ascenso de una partícula de aceite en agua resulta:

$$v_t = \left(\frac{1}{C}\right) \left(\frac{1}{18}\right) \left(\frac{g}{A}\right) (\rho_w - \rho) D^2 \text{-----(IV.1-5)}$$

Sin embargo, en la aplicación de esta ecuación al diseño de separadores de agua de desecho, el factor 1/C puede omitirse para fines prácticos, porque su valor es muy cercano a la unidad para las viscosidades del aceite a ser separado de las aguas de desecho de plantas industriales, entonces:

$$v_t = \frac{g}{18A} (\rho_w - \rho) D^2 \text{-----(IV.1-6)}$$

La ecuación de Stokes es aplicable sólo a partículas individuales. Si en una suspensión hay muchas partículas esféricas, la velocidad de ascenso o sedimentación es menor que la velocidad calculada por la Ley de Stokes. Sin embargo, si las esferas son de tamaño y densidad uniforme y están bien distribuidas a través del fluido, la velocidad puede ser calculada por la Ley de Stokes multiplicada por un término que es función sólo de la concentración.

Estudios hechos por Steinour [Ind. Eng. Chem., [36] 618, 840, 901 (1944)] muestran que en una suspensión con esferas de tamaño uniforme, la velocidad de ascenso o sedimentación está expresada por las siguientes ecuaciones:

$$V_r = V_t E^2 \phi(E)$$

$$V_r = V_t \frac{E^2}{1-E} \theta(E)$$

$$\phi(E) = 10^{-1.82(1-E)}$$

$$\theta(E) = \frac{(1-E)10^{-1.82(1-E)}}{E}$$

Donde:

V_r = Velocidad de ascenso o sedimentación.

V_t = Velocidad de ascenso o sedimentación, obtenida por la Ley de Stokes.

E = Parte del volumen total que es ocupado por líquido o fase continua (a dilución infinita $E=1$).

Las concentraciones de aceite en el agua de desecho que

aquí se manejan son relativamente bajas, por lo que resulta práctico utilizar la Ley de Stokes directamente para calcular la velocidad de ascenso de los glóbulos de aceite.

La ecuación (IV.1-6) es estrictamente correcta sólo cuando el número de Reynolds de la partícula que asciende (basado en el diámetro de la partícula) es menor que 0.5.

La aplicabilidad de la ecuación (IV.1-6) a glóbulos de aceite en aguas residuales ha sido investigada; de los resultados obtenidos en experimentos y de datos de plantas en operación, se ha determinado que el diseño de separadores de agua de desecho puede basarse en la velocidad de ascenso de glóbulos de aceite que tienen un diámetro de 0.015cm. Este tamaño de glóbulos, aunque es arbitrario, ha sido adoptado para propósitos de diseño porque se ha observado que la remoción de aceite es satisfactoria.

Sustituyendo el valor de 0.015 cm. para el diámetro del glóbulo en la ecuación (IV.1-6), la velocidad de ascenso de glóbulos de aceite en agua de desecho puede ser expresado en pies por minuto de la manera siguiente:

$$V_r = \frac{(981)(60)(0.015)^2}{(18)(30.5)} \frac{(\rho_w - \rho_o)}{\mu}$$

$$V_r = 0.0241 \frac{(\rho_w - \rho_o)}{\mu} \text{-----(IV.1-7)}$$

ρ_w y ρ_o , pueden ser sustituidos por S_w y S_o (peso específico), directamente en la ecuación (IV.1-7).

$$V_r = 0.0241 \frac{(S_w - S_o)}{\mu} \text{-----(IV.1-8)}$$

Esta es la ecuación simplificada de la velocidad de ascenso de la partícula de aceite; su aplicación práctica se verá a continuación.

IV.1-1 Introducción a los Separadores Agua-aceite.

Los separadores A P I tipo gravedad se utilizan para remover principalmente aceite y sólidos sedimentables de las aguas de desecho de una refinería. El diseño y tamaño depende de las características y volumen del agua de desecho.

La eficiencia de separación operando a una velocidad de flujo dada depende de la temperatura del agua, de la densidad y tamaño de las partículas de aceite, así como de la cantidad y características de la materia suspendida.

Por otra parte, la eficiencia de diseño obtenida en cuanto a aceites en este tipo de separadores, no permite lograr los contenidos de aceite establecidos en las reglamentaciones que aparecen en literatura diversa para el control y prevención de contaminación de aguas.

Sin embargo, con el afán de reducir cada vez más la concentración de aceite en los efluentes finales, se han desarrollado varios sistemas, de los cuales unos han sido mejoras a los separadores convencionales, y otros son diseños totalmente nuevos basados en el mismo principio de operación.

Una de las mejores hechas al separador convencional consiste en la instalación de placas paralelas a lo largo de la cámara de separación, en dirección del flujo e inclinadas a un cierto ángulo de la horizontal. (fig. IV.3-1)

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

cia en la remoción de aceite.

Posteriormente, con la experiencia de la modificación anterior, se desarrolló un nuevo sistema a base de placas corrugadas. (fig. IV.4-1).

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

Este interceptor ofrece mayor eficiencia en la remoción de aceite que los anteriormente mencionados.

Un sistema más eficiente que los antes mencionados es el separador de placas coalescentes, ya que combina dos procesos: Separación por diferencia de gravedad específica y acción coalescente. El separador está constituido por placas corrugadas recubiertas de polipropileno oleofílico. (fig. IV. 5-1).

A continuación se ofrece la descripción más detallada de cada uno de estos separadores.

IV. 2.- SEPARADOR A P I

Para que un separador de aceite tipo A P I sea eficiente se deben manejar adecuadamente los siguientes factores.

- 1.- Características del aceite contenido en el agua (tipo, estado, etc).
- 2.- Características del flujo del agua aceitosa.
- 3.- Diseño y tamaño de la unidad.

Un separador A P I cumple operativamente con dos aspectos:

- 1.- Eliminación del aceite inmisible en agua por diferencia de densidades.
- 2.- Retención de sólidos sedimentables, los cuales formarán lodos en las partes bajas del separador por precipitación.

Este tipo de separadores no es capaz de eliminar o tratar sustancias en solución (sales), tampoco rompe emulsiones estables.

Usando el concepto de ascenso del glóbulo de aceite como fue expresado en la ecuación (IV.1-8), el diseño de un separador A P I agua-aceite, se basa en las siguientes ecuaciones:

a) Area horizontal mínima. (A_H)

$$A_H = F \frac{Q_m}{V_r} \text{-----(IV.2-1)}$$

Donde:

F= Factor de diseño que considera los efectos de turbulencia (F_t) y de corto circuito (F_s). $F = F_t F_s$

Q_m = Flujo del agua aceitosa.

Se llama corto circuito a la desviación del camino que normalmente se esperaría de las partículas.

El calculo de F se puede hacer de dos maneras:

Procedimiento A: Utilizando la figura IV.2-1.

Consiste en obtener la relación V_H/V_R y con este valor entrar a la figura IV.2-1.

V_H = Velocidad horizontal de flujo, en cm/seg.

Se conoce el valor de V_R y se sabe que los efectos de turbulencia se incrementan con la razón V_H/V_R , por lo que resulta práctico establecer límites a esta relación. Se ha seleccionado una relación de velocidad máxima, V_H/V_R , de 15. - Se ha especificado un valor máximo de 1.5cm./seg para V_H . Es decir $V_H = 15 V_R$, siempre y cuando no rebase los 1.5cm./seg. No hay teoría para definir un valor absoluto máximo de la velocidad media horizontal; esto ha sido materia de la experiencia. Los resultados de estudios experimentales indican que una velocidad media horizontal de 1.5cm./seg. no es excesiva y se recomienda como un criterio para diseño de separadores.

Procedimiento B: Utilizando la tabla IV.2-1.

Camp [Trans. Am. Soc. Civil Engrs. III. Paper No. 2285, 985-958(1946)] ha demostrado que el factor de turbulencia, F_t , es una función de la razón de velocidad media horizontal, V_H , a la velocidad de ascenso de la partícula, V_R .

Con el fin de conocer F_t , se obtiene la relación V_H/V_R de la misma manera que en el procedimiento A y se interpola

en la tabla IV.2-1.

Como un resultado de estudios experimentales, se recomienda para el factor de corto circuito, F_s , un valor de 1.2.

b) Area mínima de la sección transversal (A_c)

$$A_c = \frac{Q_m}{V_H} \text{-----(IV.2-2)}$$

c) Relación profundidad/ancho del separador, d/B .

d = Profundidad o nivel del agua de desecho en el separador, el A P I recomienda límites de 0.9 a 2.4m

B = Ancho del separador.

Así como la velocidad horizontal máxima, la razón d/B no es sujeta a un análisis teórico. Sin embargo, pruebas hechas sobre separadores experimentales indican que, para cámaras de separación con la misma área superficial, la influencia de la profundidad sobre la retención de aceite no es significativa mientras la razón de d/B sea menor de 0.3. El máximo valor recomendado para la razón d/B es 0.5.

$$d/B = 0.3 \text{ a } 0.5 \text{ máximo -----(IV.2-3)}$$

Los canales separadores normalmente son limitados a un ancho de 1.8-6m aunque pueden usarse más grandes si es necesario satisfacer condiciones no usuales. Estudios experimentales han demostrado que las características hidráulicas de una cámara son mejoradas si se incrementa su longitud y se reduce su ancho.

Una cámara más larga tiene el efecto de minimizar la influencia perturbante de las zonas de entrada y salida.

d) Longitud del separador (L)

$$A_H = F \left(\frac{Q_m}{V_r} \right) \text{-----} \text{(IV.2-1)}$$

$$A_H = LB \text{-----} \text{(IV.2-4)}$$

igualando (IV.2-1) y (IV.2-4)

$$LB = F \left(\frac{Q_m}{V_r} \right)$$

$$L = \frac{F}{B} \left(\frac{Q_m}{V_r} \right) \text{-----} \text{(IV.2-5)}$$

$$A_c = \frac{Q_m}{V_H} \text{-----} \text{(IV.2-2)}$$

$$Q_m = A_c V_H$$

Sustituyendo Q_m en (IV.2-5)

$$L = \frac{F A_c}{B} \left(\frac{V_H}{V_r} \right) \text{-----} \text{(IV.2-6)}$$

$$A_c = B d \text{-----} \text{(IV.2-7)}$$

Sustituyendo (IV.2-7) en (IV.2-6)

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

$$L = F \left(\frac{V_H}{V_r} \right) d \text{-----} \text{(IV.2-8)}$$

e) Tiempo de retención:

$$T_1 = \frac{L}{V_H} \text{-----(14.2-9)}$$

f) Volumen del separador

$$V = Q_m (T_1) \text{-----(IV.2-10)}$$

Con las ecuaciones anteriormente descritas es factible calcular un sistema de separación de aceite tipo API, sin embargo, si lo que se desea es una estimación rápida, se recomienda usar las figuras IV.2-2, IV.2-3, IV.2-4 y IV.2-5.

Con Q_m y V_r se entra a las figuras IV.2-2, IV.2-3 ó IV.2-4, según el flujo que se esté manejando. Apoyandose en los puntos y líneas de referencia y siguiendo las recomendaciones que da el API (que antes se mencionan), se puede conocer: A_c , n (número de canales), B y d . La longitud se obtiene de la figura IV.2-5.

Esta información se aplica al diseño de separadores API, equipos cuyo diseño se basa en la investigación promovida por el American Petroleum Institute. Existen, sin embargo, otros tipos de separadores usados en la industria, los cuales dan servicio en forma satisfactoria. Algunos de estos sistemas han sido mejoras a los separadores convencionales tipo API, y otros son diseños totalmente nuevos basados en el mismo principio de diferencia de densidades.

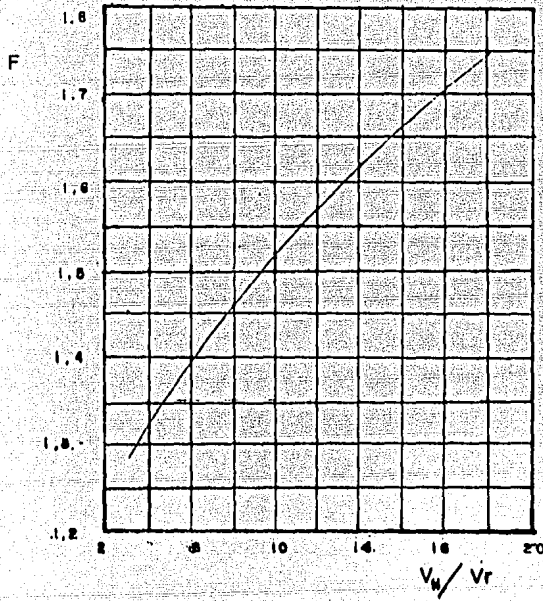
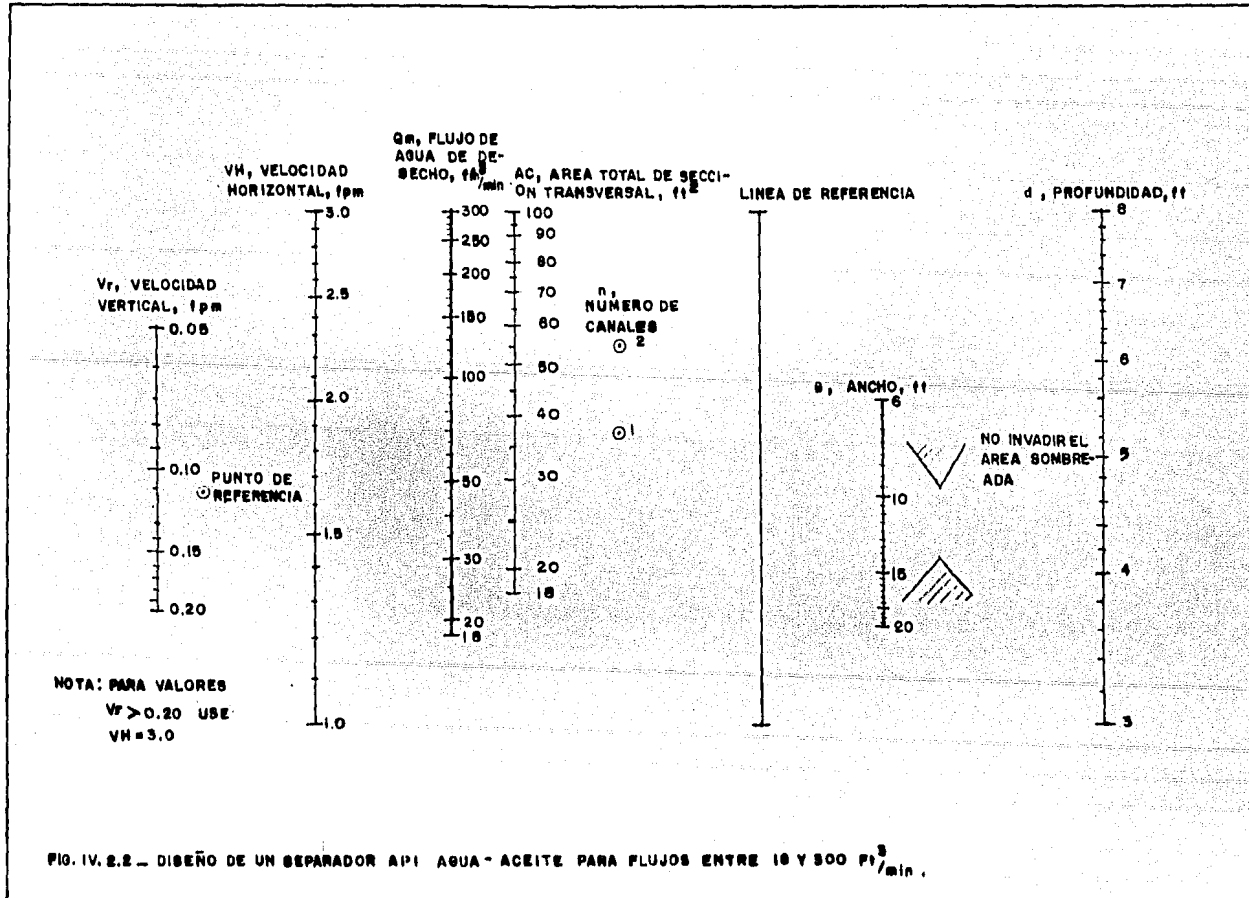


FIG. IV. 2.1. VALORES RECOMENDADOS DE F.

TABLA IV.2-1 Valores recomendados del Factor de turbulencia.

V_H/V_T	Factor de turbulencia, Ft
20	1.45
15	1.37
10	1.27
6	1.14
3	1.07



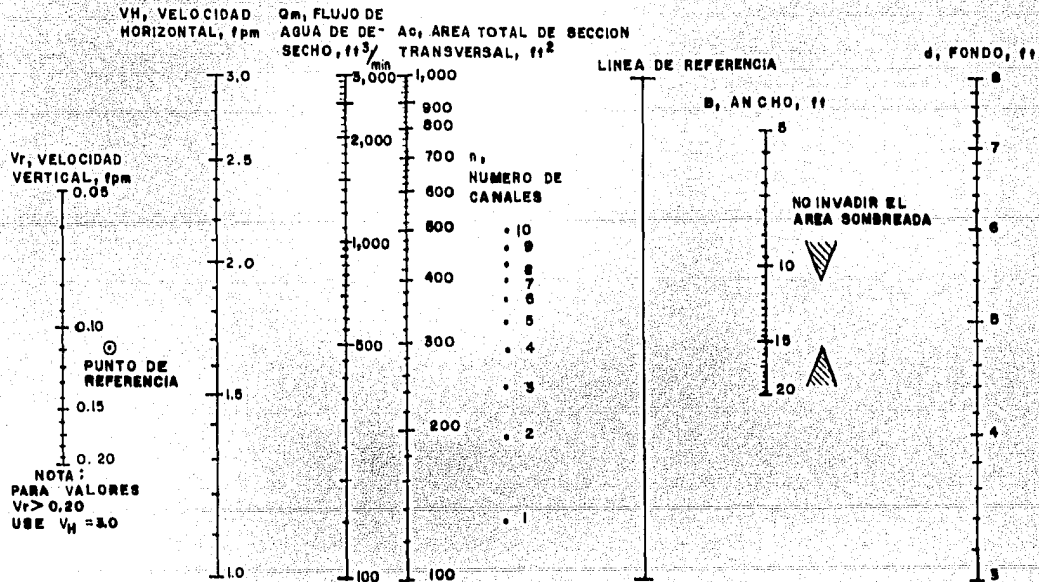
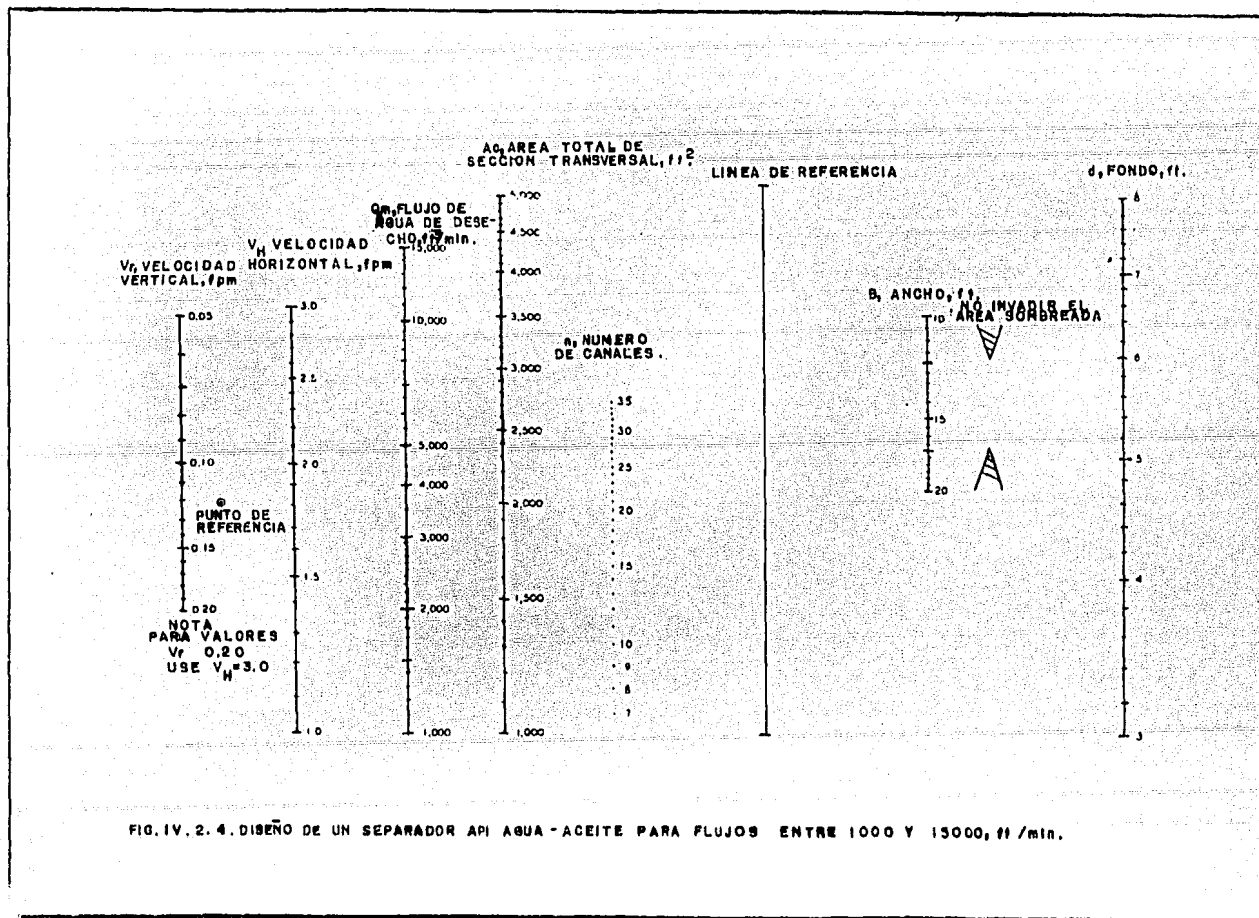


FIG. IV. 2.5. DISEÑO DE UN SEPARADOR API AGUA-ACEITE PARA FLUJOS ENTRE 100 Y 3,000 ft³/min.



d_i Profundidad, ft

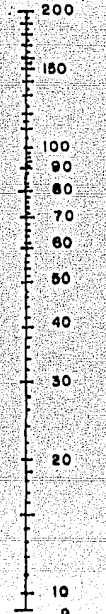


LINEA DE REFERENCIA

VH/V_r



LONGITUD, ft



F, FACTOR DE DISEÑO, $P_0 \times F_1$

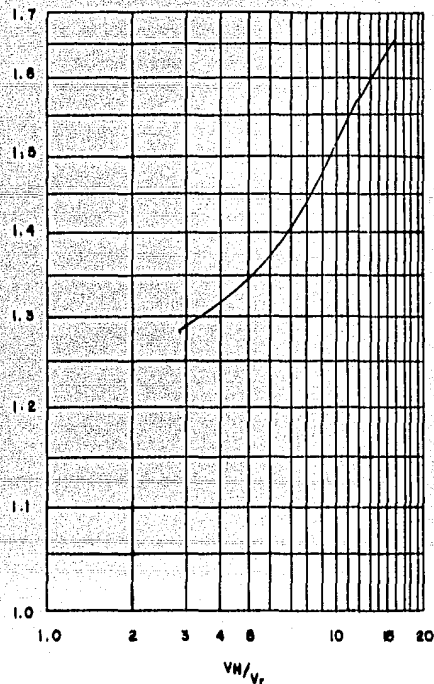


FIG. IV.8.5 - DISEÑO DE UN SEPARADOR (API), AGUA-ACEITE - LONGITUD DE CAMARA REQUERIDA PARA CUALQUIER FLUJO

IV.3 SEPARADOR DE PLACAS PARALELAS.

Una de las modificaciones hechas al separador API convencional consiste en la instalación de placas paralelas a lo largo de la cámara de separación, en dirección del flujo e inclinadas a un cierto ángulo de la horizontal. (figura IV.3-1).

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

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

El principio de este sistema consiste en acortar la distancia de ascenso de la partícula de aceite, lo que se traduce en una reducción en el tamaño del equipo y una menor concentración de aceite en los efluentes.

Aunque el separador de placas paralelas ha ido incrementando su popularidad, muy poco se ha escrito sobre criterios para lograr un buen diseño de este separador. Aquí se sigue un método de diseño aproximado que concuerda bien con algunos separadores de placas paralelas existentes.

El tiempo de retención está dado por las dos siguientes ecuaciones:

$$t_r = d_1 \sqrt{2} / V_r \text{ ----- (IV.3-1)}$$

$$t_r = A_p L / Q_m \text{ ----- (IV.3-2)}$$

Donde:

A_p = area transversal, cm^2 , (a) (b) en la figura IV.3-1

a = base del paquete, cm.

b = altura del paquete, cm.

V_r = velocidad de ascenso de los glóbulos, cm/s.

d_1 = distancia entre platos, cm

L = longitud del separador, cm.

Q_m = flujo a través de A_p , cm^3/s .

Si a y b son mucho más grandes que la distancia entre las placas " d_1 ":

$$\frac{d_1}{2} = R_H \text{-----(IV.3-3)}$$

donde R_H es el radio hidráulico en cm.

En tales casos, para el cálculo del Reynolds se usará el diámetro equivalente que es cuatro veces el radio hidráulico.

$$De = 4(d_1/2) = 2d_1 \text{-----(IV.3-4)}$$

Entonces, el número de Reynolds está dado por:

$$Re = \frac{2d_1 Q_m \rho}{A_p \mu} \text{-----(IV.3-5)}$$

ρ = Densidad del fluido (usualmente se toma como agua).
 g/cm^3 .

μ = Viscosidad del fluido (generalmente la misma que el agua),
poises ($\text{g/cm}\cdot\text{seg}$).

$$\text{Entonces: } A_p = \frac{2d_1 Q_m \rho}{\mu (Re)} \text{-----(IV.3-6)}$$

Combinando las ecuaciones (IV.3-1), (IV.3-2), y (IV.3-6) se tiene que:

$$L = \frac{\text{tr } Q_m}{A_p}$$

$$L = \frac{d\sqrt{2} Q_m}{V_r A_p}$$

$$L = \frac{d\sqrt{2} Q_m \mu (Re)}{2 V_r d_1 Q_m \rho}$$

$$L = \frac{\mu (Re) \sqrt{2}}{2 \rho V_r} \text{----- (IV.3-7)}$$

ν = viscosidad cinemática = μ/ρ

$$A_p = \frac{2d_1 Q_m}{\nu (Re)}$$

$$L = \frac{\nu (Re) \sqrt{2}}{2 V_r} \text{----- (IV.3-9)}$$

Las ecuaciones (IV.3-8) y (IV.3-9) son las ecuaciones de diseño. Los términos Q_A , ρ y μ son conocidos para cada caso y V_r puede encontrarse mediante la relación.

$$V_r = \frac{g}{18\mu} (\rho_w - \rho_o) D^2 \text{----- (IV.1-6)}$$

Se ha observado que es conveniente diseñar en los siguientes intervalos.

$$500 \leq Re \leq 2000 \text{ y}$$

$$1 \text{ pulgada} \leq d \leq 4 \text{ pulgadas.}$$

Las ecuaciones (IV.3-8) y (IV.3-9) pueden ser representadas graficamente para cubrir estos intervalos, como se muestra en las figuras (IV.3-2) y (IV.3-3).

En el dimensionamiento de este tipo de separadores exigen varios parámetros que se pueden manejar para cumplir con las necesidades de remoción de aceite y sólidos. Por ejemplo, si se desea remover mayor cantidad de aceite, se puede usar la menor distancia posible entre las placas, disminuir la velocidad horizontal (aumentar el tiempo de residencia) y por lo tanto el número de Reynolds. Este juego de variables debe manipularse de una forma equilibrada, pues si se reduce mucho la distancia entre placas, se pueden tener problemas de obstrucción y ensuciamiento con los sólidos. Si se reduce demasiado la velocidad se van a tener separadores muy largos.

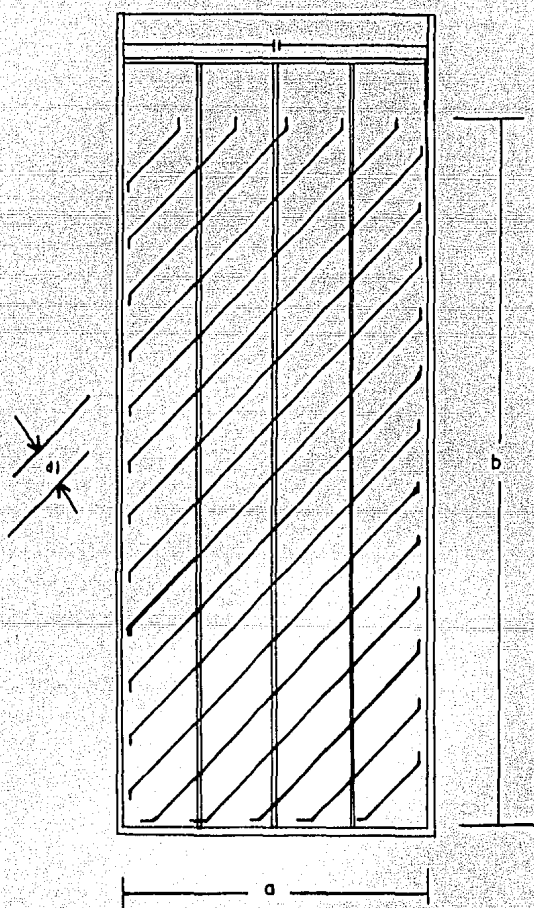
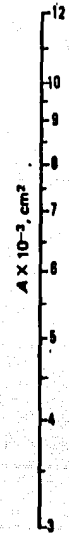
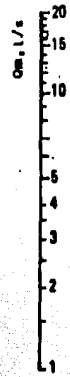
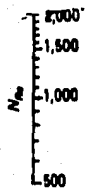
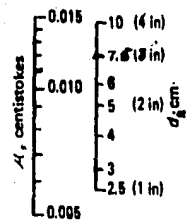


FIG. IV. 3.1. PAQUETE DE PLACAS PARALELAS.



LÍNEAS DE REFERENCIA

FIG. IV.3.2. REQUERIMIENTOS DE AREA PARA FLUJO LAMINAR.

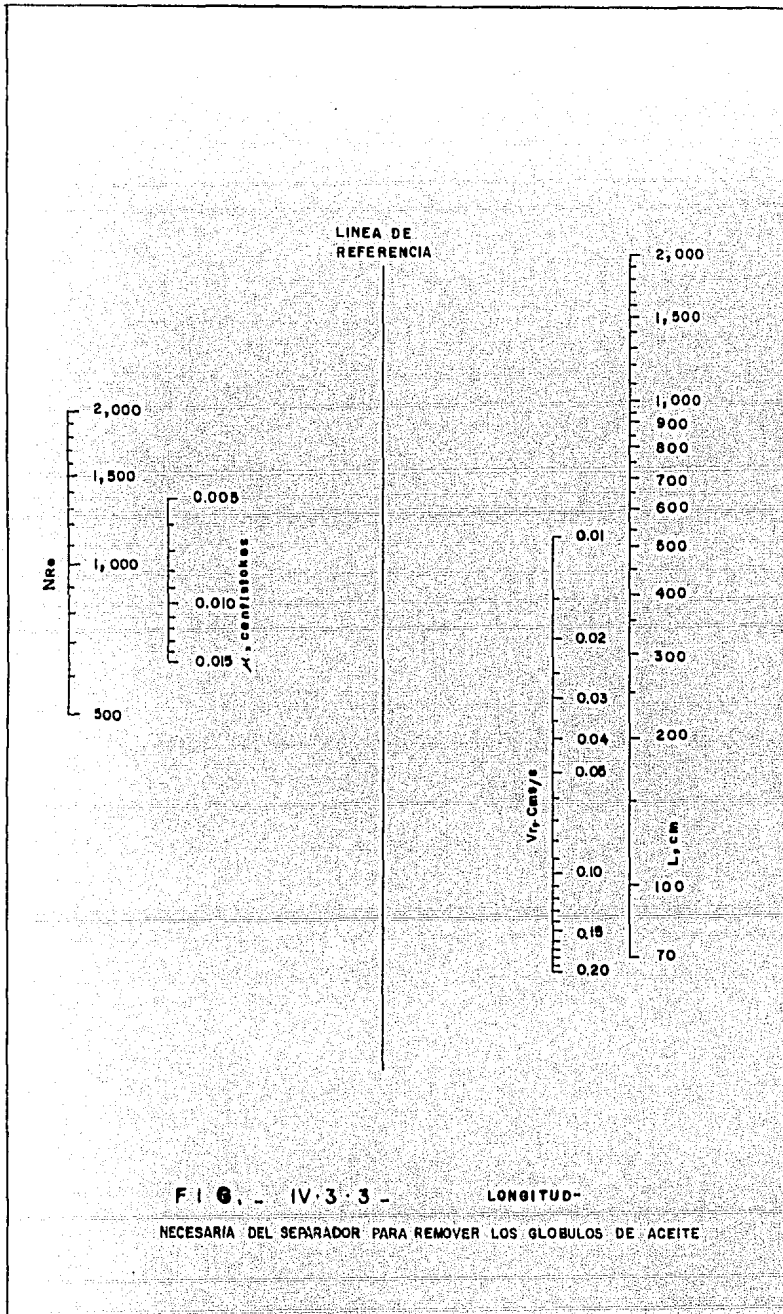


FIG. - IV.3.3 - LONGITUD-
 NECESARIA DEL SEPARADOR PARA REMOVER LOS GLOBULOS DE ACEITE

IV.4.- SEPARADOR DE PLACAS CORRUGADAS:

Una modificación del sistema de separación de placas - paralelas la realizaron las compañías Shell Oil y Royal Dutch. Esta se basa en el desarrollo de cámaras provistas de placas corrugadas, las que mejoran la separación, ya que proporcionan mayor superficie de contacto.

Actualmente no se tiene mucha información sobre estos - sistemas de separación; lo poco que se conoce es la información que los fabricantes distribuyen en forma de propaganda de sus equipos.

Las diferentes compañías que construyen los separadores, los hacen en algún tamaño que toman como patrón y/o en base a los requerimientos del cliente.

Un separador estándar está compuesto de un paquete de 50 placas corrugadas de fibra de vidrio, recubiertas de poliester. Las dimensiones de un paquete estándar son:

Altura: 1.03m.

Ancho : 1 m.

Largo : 1.75m.

El separador de placas corrugadas, se coloca con cierto ángulo de inclinación en dirección del flujo, guardando una distancia corta entre las placas. Este ángulo normalmente es 45° con respecto a la horizontal (figura IV.4-1).

La figura IV.4-2 (tomada del catálogo de separadores Monarch) es una representación gráfica de la ley de Stokes. Es usada para determinar la capacidad del paquete de placas estándar.

Los paquetes de placas corrugadas pueden ser usados en paralelo si los requerimientos exceden las capacidades de un paquete simple.

La experiencia ha demostrado que la remoción de partículas de 60 micras es un buen criterio de diseño. Con este criterio se logra una velocidad de flujo relativamente alta, que puede ser hasta 3 veces la del API, produciendo efluentes con un bajo contenido de aceite libre (entre 10 y 20 ppm). Esto no implica que este criterio de diseño sea la máxima capacidad de este tipo de unidades. Pueden ser separadas partículas de cualquier tamaño variando la velocidad del flujo.

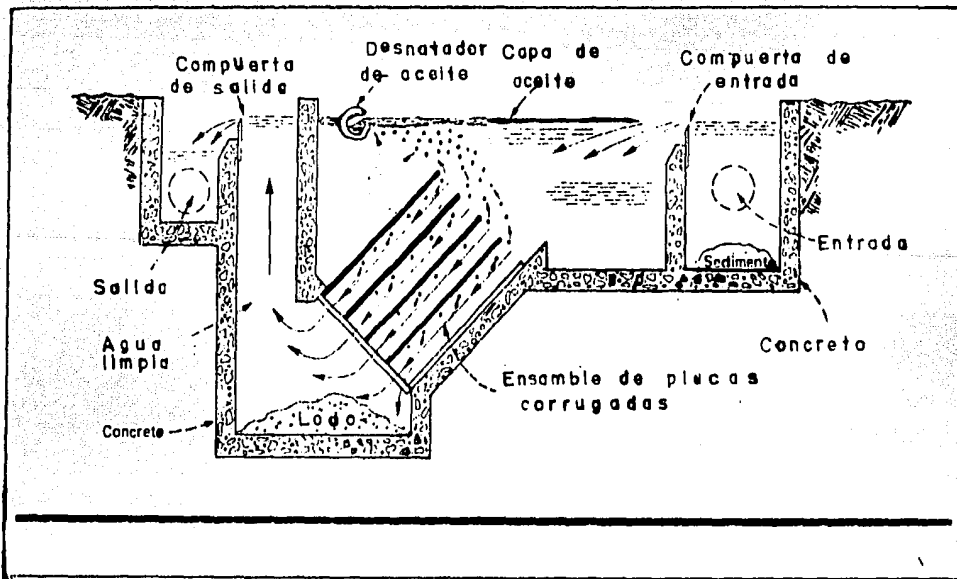


FIG. IV.4.1.- SEPARADOR DE PLACAS CORRUGADAS

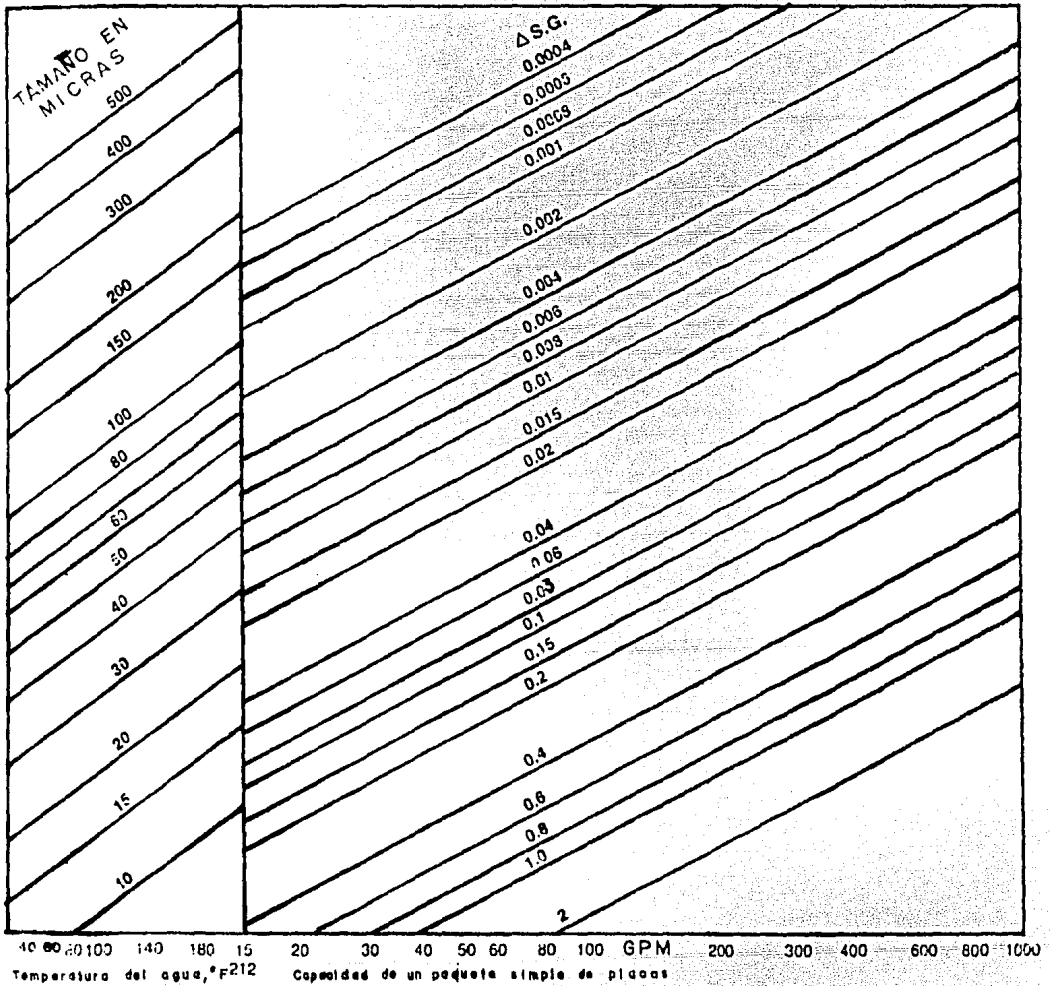


FIG. IV.4-2. Representación gráfica de la ley de Stokes (tomada del catálogo de separadores Monarch).

IV. 5.- SEPARADOR DE PLACAS COALESCENTES

Posteriormente se desarrolló un nuevo sistema de separación más completo que los anteriormente mencionados, ya que este combina dos procesos: Separación por diferencia de gravedad específica y acción coalescente. Este separador se representa en la figura IV.5-1. La única información que se tiene de estos sistemas son los folletos que los fabricantes distribuyen como propaganda.

Según General Electric, sus placas coalescentes son capaces de capturar gotas de aceite menores a 20 micras y producir efluentes con un contenido de aceite de 15 ppm o menos. En lo sucesivo nos referimos al separador de General Electric.

Este separador tiene la doble capacidad de poder tratar influentes que contienen aceite pesado o ligero. Las unidades pueden usarse como simples separadores o como parte integral de un sistema de tratamiento de aguas residuales. Los separadores pueden comprarse ya armados de fábrica o pueden acoplarse las placas a un separador tipo A P I.

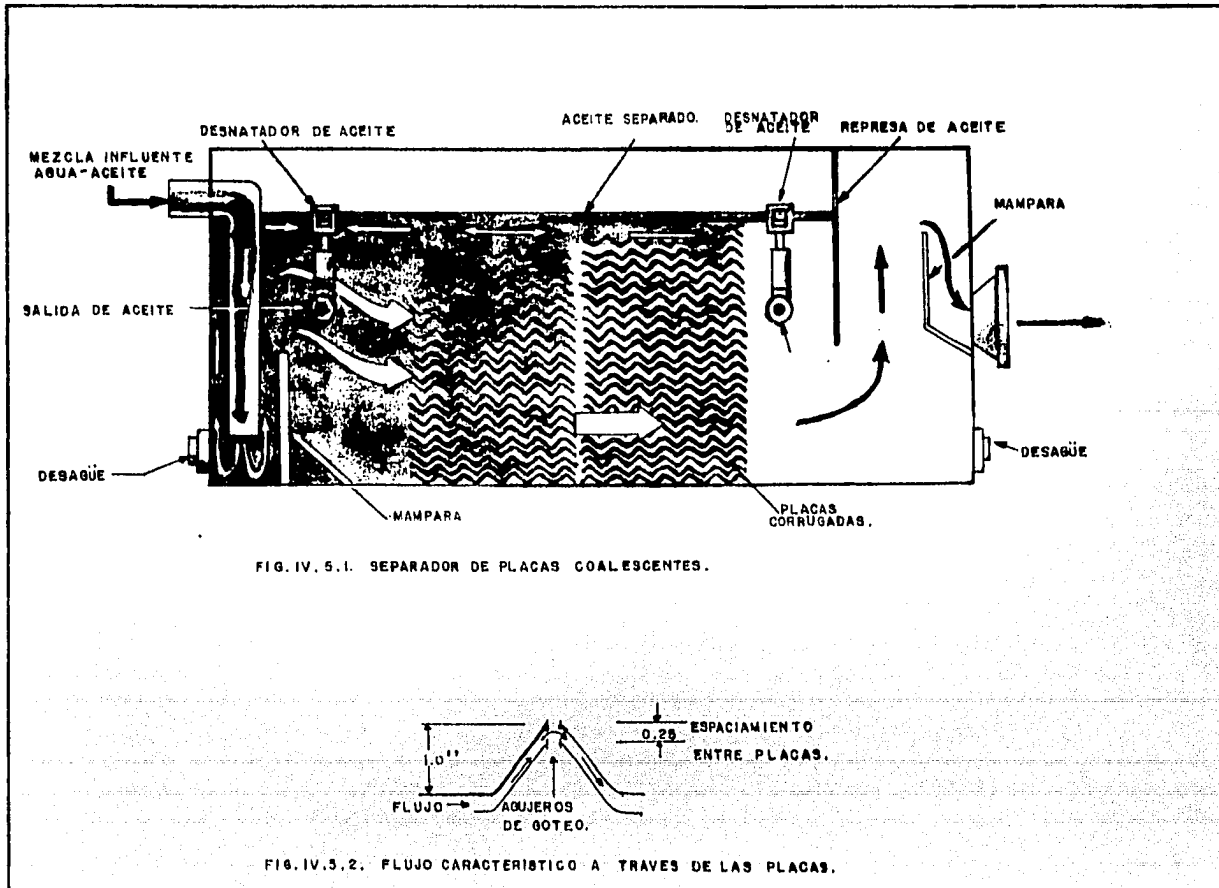
Las unidades están prácticamente libres de mantenimiento, y, cuando se requiere, los platos pueden ser removidos fácilmente para su limpieza.

Cuando el influente aceitoso entra al separador, las gotas grandes de aceite ascienden inmediatamente a la parte superior del separador por el efecto de la diferencia de gravedad específica; las gotas pequeñas entran al área de placas para su remoción. El hecho de que las placas corrugadas pro-

duzcan un flujo laminar pulsante, favorece la coalescencia de las gotas de aceite. (figura IV.5-2). Las partículas de aceite se adhieren sobre la superficie de las placas y fluyen hacia la superficie del agua por los espacios que se encuentran en las crestas de las placas. Una vez en la superficie, un desnatador ajustable remueve el aceite. Los sólidos sedimentables deben ser depositados ó separados antes de entrar a la cámara, es decir, el agua aceitosa que se trate en los paquetes de placas coalescentes deberá estar exenta de esos contaminantes.

Las placas proporcionan una máxima área superficial por unidad de volúmen, para así lograr una eficiente separación. Estas pueden ser usadas a temperaturas del líquido arriba de 160° F y resisten niveles de PH de 2 a 12.

El funcionamiento de los separadores de placas coalescentes depende del tipo y cantidad de aceite que va a ser separado. Para bajas concentraciones de aceite, con un bajo peso específico, las velocidades de flujo deben ser incrementadas; para grandes concentraciones de aceite, con un alto peso específico, se deben disminuir las velocidades de flujo. A una velocidad de flujo establecida, el separador de placas coalescentes no sólo removerá todas las partículas mayores de 20 micras, sino también una porción substancial de las partículas de 5-20 micras. Estas unidades pueden manejar oleadas periódicas de aceite al 100% sin afectar adversamente la calidad del efluente.



Puede usarse la gráfica IV.5-3 (tomada del folleto de General Electric) para seleccionar el tamaño de un separador agua-aceite de placas coalescentes. El procedimiento es el siguiente:

Teniendo determinado el tamaño de partícula más pequeño que debe ser capturado por el separador para obtener los resultados deseados, se puede entrar a la gráfica con la temperatura más baja de operación. Se procede verticalmente hasta el tamaño de partícula que va a ser removido, se continúa horizontalmente hasta el peso específico del aceite y se baja al porcentaje de la capacidad nominal de un separador estándar.

Cuando las condiciones del influente y efluente son dadas en partes por millón (mg/l) se puede usar la figura IV.5-4 (tomada del folleto de General Electric) para determinar la capacidad del separador. Se procede de la misma forma que se describió anteriormente.

General Electric proporciona también la tabla IV.5-1 para calcular las dimensiones y pesos de los separadores, después de que se conoce la capacidad.

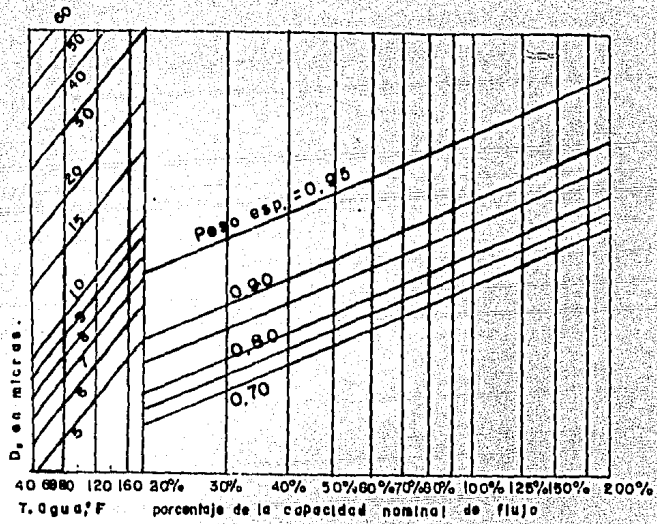
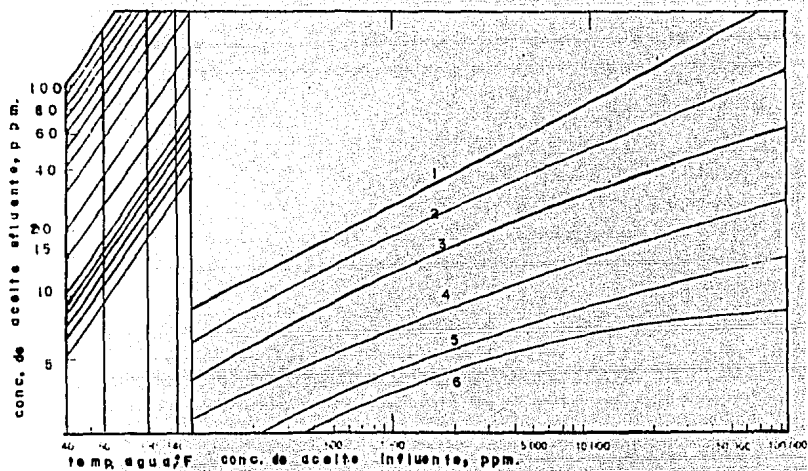


FIG. IV-53. FLUJO VS GOTAS DE ACEITE REMOVIDAS



1. 200% capacidad.
0.90 peso específico.
2. 200% capacidad.
0.85 peso específico.
3. 100% capacidad.
0.90 peso específico.
4. 100% capacidad.
0.85 peso específico.
5. 50% capacidad.
0.90 peso específico.
6. 50% capacidad.
0.85 peso específico.

FIGURA IV.5-4. INFLUENTE VS. CONCENTRACION DE ACEITE EFLUENTE.

Tabla IV.5-1. Tamaño y peso de los separadores disponibles.

Modelo No.	Capacidad Nominal GPM	cubierta (in)			Peso (libras)	
		long.	ancho	alto	húmedo	seco
OPL 25	25	89	30	40	3,450	950
OPL 75	75	133	56	43	9,650	1,800
OPL 150	150	152	82	59	23,500	4,200

V.- BASES DE DISEÑO

1. Localización del complejo
- 1.1 País México
- 1.2 Estado Chihuahua
- 1.3 Municipio Camargo
- 1.4 Kilometraje Km. 1506.8, Carretera México Cd. Juárez.
- 1.5 Coordenadas (latitud y longitud) 27°42'N y 105°10'W.
- 1.6 Plano topográfico Por Pemex
- 1.7 Planta con curvas de Nivel Por Pemex.
- 1.8 Limites de propiedad.

Al norte.- Con terrenos pertenecientes a Unión Ganadera, S.A., Industrias Unidas del Norte, S. A., y con la vía Ferroviaria México-Cd. Juárez. Se hace notar que estos terrenos se encuentran a su vez, al Sur del Río Florido.

Al Sur.- Con la carretera México-Cd. Juárez.

Al Este.- Con terrenos Pertenecientes a la Compañía Fertimex.

Al Oeste.- Con la Carretera México-Cd. Juárez-Pampas.
- 1.9 Area del Centro de Trabajo 145^{ha} 14^a 29.26^{ca}.
- 1.10 Camino de acceso. Carretera Pavimentada, terracería y vía Ferroviaria.

1.11 Entroque con carretera México-Cd. Juárez-Pampas.

1.12 Entroque con Ferrocarril México-Camargo-Cd. Juárez.

2. CONDICIONES CLIMATOLOGICAS Y DATOS DEL LUGAR.

2.1 TEMPERATURAS

Máxima extrema	50°C; el 15 0/58)
Mínima extrema	-14°C; el 30 01/49)
Máxima promedio anual	29.9°C
Mínima promedio anual	11.2°C
Promedio anual	20.5°C
Promedio del mes más caliente	38.0°C; (Junio)
Promedio del mes más frío	1.5°C; (Enero)
De bulbo húmedo promedio anual	30.0°C
De bulbo seco promedio anual	34.0°C

2.2 HUMEDAD: Relativa:

Media anual	25%
Máxima	42%
Mínima	6%

2.3 PRECIPITACION PLUVIAL

Máxima al mes en 24 hrs. 94.7mm.; (14/07/68)
Mínima al mes en 24 hrs. 0.5mm.; (-/11/62)
Horaria Máxima 3.9mm.
Total anual 303.4mm.
Número de días con nevada por año 0.83

2.4 ESTADISTICAS DE TORMENTAS ELECTRICAS:

Número de tormentas por año 8

2.5 ATMOSFERA:

Presión atmosférica media anual 758.5 mm hg.

Atmosfera corrosiva SI _____ NO X

Contaminantes: Polvo.

2.6 VIENTOS:

Dirección dominante S.O

Dirección reinante S.O

Vel. media de los vientos dominantes 20.0 mts/ seg.

Vel. máximo de los vientos dominantes 39.9 mts/ seg.

2.7 DATOS DEL LUGAR:

Sismo: Clasificación "A" (Estandar No. C-2-d-3), Zona I,U.B.C.

Altura sobre el nivel del mar 1653 mts.

3.- CONDICIONES DEL AGUA DE DESECHO (INFLUENTE).

Flujo normal, $Q=635.44 \text{ m}^3/\text{dfa}$.

Flujo máximo, $Q_m=869.71 \text{ m}^3/\text{dfa}$.

Viscosidad absoluta del agua, $\mu=0.0153$ poises.

Peso específico del agua, $S_w=1.0$.

Peso específico del aceite, $S_o=0.8674$.

Densidad API del aceite=32.86

Temperatura del influente, $T=4^\circ\text{C}$.

Concentración de aceite (normalmente): 600 ppm.

Concentración de aceite máxima=4,700 ppm.

4.- CONDICIONES REQUERIDAS PARA EL EFLUENTE

Promedio mensual de ocho muestras: 10 ppm.

Ninguna muestra individual excederá de: 15 ppm.

Materia flotante: Ninguna que pueda ser retenida por malla de 3 mm. de claro libre cuadrado.

VI.- SELECCION Y CALCULO DEL SEPARADOR.

De lo expuesto en el capítulo IV y comparando en la tabla VI.1, puede concluirse que el sistema más eficiente es el de placas coalescentes, sin embargo este tipo de unidades no se fabrica en el país y tiene que importarse, lo que provoca que sea demasiado caro con respecto a los sistemas de fabricación nacional.

De los equipos restantes, el separador de placas corrugadas es capaz de cumplir con los requerimientos, además de que existen en el país varios proveedores de este tipo de equipo y así, su adquisición no representa un gran problema. Por lo anterior, este separador es la opción más viable para lograr el objetivo.

El cálculo del separador de placas corrugadas se efectuará con la ayuda de la figura IV.4-2, la cual es utilizada para determinar la capacidad de los paquetes de placas de tamaño estándar. Si se remueven todas las partículas mayores de 60 micras se obtendrá un efluente con 10 a 20 ppm de aceite.

Se entra a la gráfica con un flujo, $Q_m/2=80$ gpm; se sube hasta la diferencia de peso específico, 0.1326 y se procede horizontalmente hasta la intersección con la temperatura de 40°F, la cual ocurre a un tamaño de glóbulo de 45 micras.

De los resultados obtenidos se concluye que para remover todas las partículas mayores de 45 micras se debe emplear un separador de dos paquetes de placas, cada uno de las siguientes dimensiones:

Altura: 1.03 m.

Ancho : 1 m.

Largo : 1.75 m.

Para dar mantenimiento y limpieza periódica, se instalarán dos separadores, cada uno con dos paquetes de placas de las mismas dimensiones, colocados en paralelo.

TABLA VI.1. Datos comparativos de Separadores de Aceite.

CARACTERÍSTICAS TIPO DE SEPARADOR	CALIDAD DEL EFLUENTE	OBSERVACIONES
SEPARADOR API	Remueve todas las partículas de diámetro mayor a 0.015cm.	El contenido en el efluente final, previo tratamiento por los separadores API, se encuentra casi siempre fuera de especificación, de acuerdo a reglamentación ambiental vigente en la República Mexicana.
SEPARADOR DE PLACAS PARALELAS	Remueve todas las partículas de diámetro mayor a 0.015cm.	El principio de este sistema consiste en acortar la distancia de ascenso de la partícula de aceite, lo que implica una reducción en el tamaño del separador. El efluente ya tratado ocasionalmente sale fuera de especificación.
SEPARADOR DE PLACAS CORRUGADAS	Pueden ser separadas partículas de cualquier tamaño	La experiencia ha demostrado que este tipo de separadores da resultados satisfactorios y el efluente ya tratado cumple con los parámetros de control ambiental vigentes en la República Mexicana. Existen en el país varios fabricantes de estos separadores.
SEPARADOR DE PLACAS COALEScentes	Es capaz de separar glóbulos de aceite menores a 20 micras	El material de las placas es polipropileno oleofílico. General Electric tiene patentado este sistema y es de importación.

TABLA VI.1. Datos comparativos de Separadores de Aceite.

CARACTERÍSTICAS TIPO DE SEPARADOR	CALIDAD DEL EFLUENTE	OBSERVACIONES
SEPARADOR API	Remueve todas las partículas de diámetro mayor a 0.015cm.	El contenido en el efluente final, previo tratamiento por los separadores API, se encuentra casi siempre fuera de especificación, de acuerdo a reglamentación ambiental vigente en la República Mexicana.
SEPARADOR DE PLACAS PARALELAS	Remueve todas las partículas de diámetro mayor a 0.015cm.	El principio de este sistema consiste en acortar la distancia de ascenso de la partícula de aceite, lo que implica una reducción en el tamaño del separador. El efluente ya tratado ocasionalmente sale fuera de especificación.
SEPARADOR DE PLACAS CORRUGADAS	Pueden ser separadas partículas de cualquier tamaño	La experiencia ha demostrado que este tipo de separadores da resultados satisfactorios y el efluente ya tratado cumple con los parámetros de control ambiental vigentes en la República Mexicana. Existen en el país varios fabricantes de estos separadores.
SEPARADOR DE PLACAS COALESCENTES	Es capaz de separar glóbulos de aceite menores a 20 micras	El material de las placas es polipropileno oleofílico. General Electric tiene patentado este sistema y es de importación.

VII.- INTEGRACION DEL SISTEMA DE SEPARACION.

En este capítulo se trata lo referente a la descripción del proceso y a las instalaciones mínimas necesarias para lograr el objetivo descrito en el capítulo II.

VII.1.- DESCRIPCION DEL PROCESO.

De acuerdo a las aguas residuales aceitosas que se generan en la UPQ de Cd. Camargo, Chih., mostradas en la figura II.1, serán conducidas al drenaje aceitoso, el cual irá separado del drenaje pluvial. La interconexión del drenaje aceitoso con los separadores de placas corrugadas será por medio de un sistema de canales. Estos canales deberán tener integradas mallas de retención de partículas. Así mismo, con objeto de desasolver los canales, estos serán por duplicado, - tal como se muestra en la figura VII.1.

El aceite que se separe del agua residual se enviará a una fosa de almacenamiento de aceite recuperado, aledaña a los separadores, tal como se muestra en la figura VII.2. El aceite recuperado captado en la fosa se enviará a dos tanques con fondo cónico para separar trazas de agua. Las purgas de los tanques deberán de conducir al drenaje aceitoso para su reproceso. El aceite sin agua se almacenará en un tanque que deberá tener facilidades para descargar el aceite recuperado a los autotanques que lo transportarán para su reproceso o su venta.

El agua que segregue del aceite en el separador de pla-

cas corrugadas se enviará al drenaje pluvial, el cual, a partir de ese punto será abierto, tipo canal, y se interconectará con el emisor final, el cual será también tipo canal.

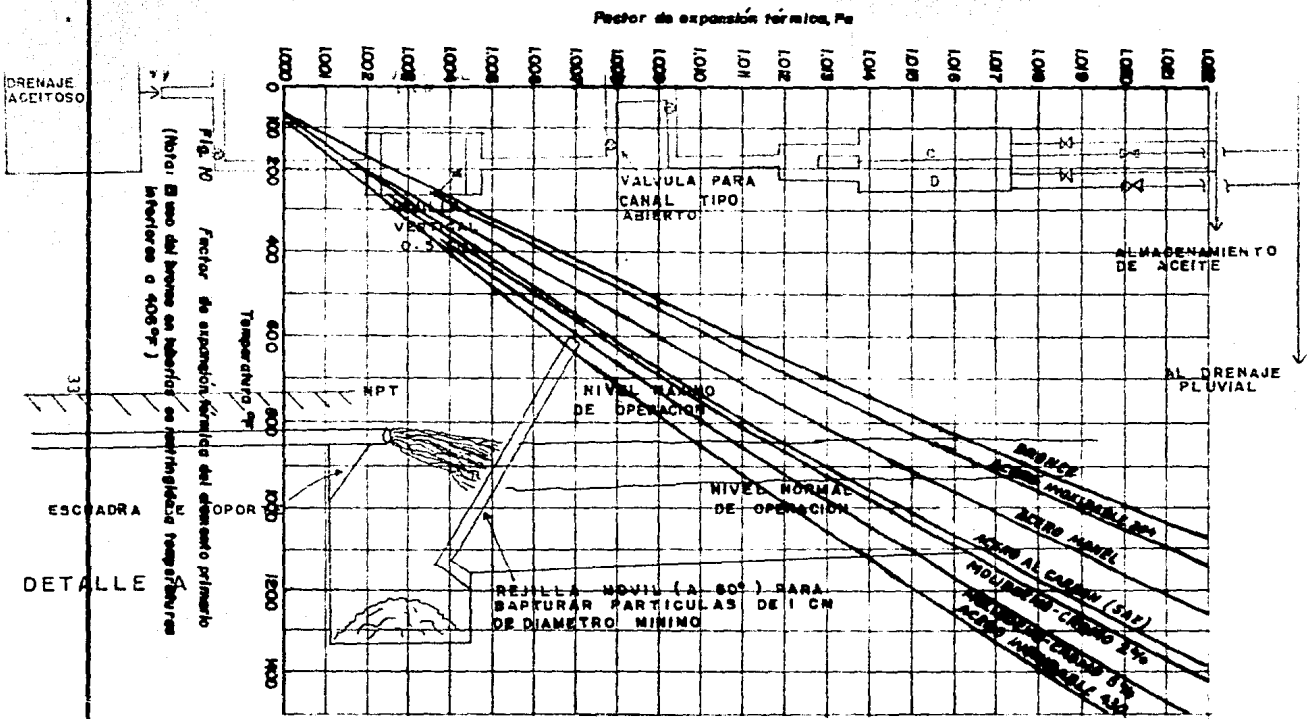


FIG. VII . I. INTERCONEXION DRENAJE ACEITOSO-SEPARADOR.

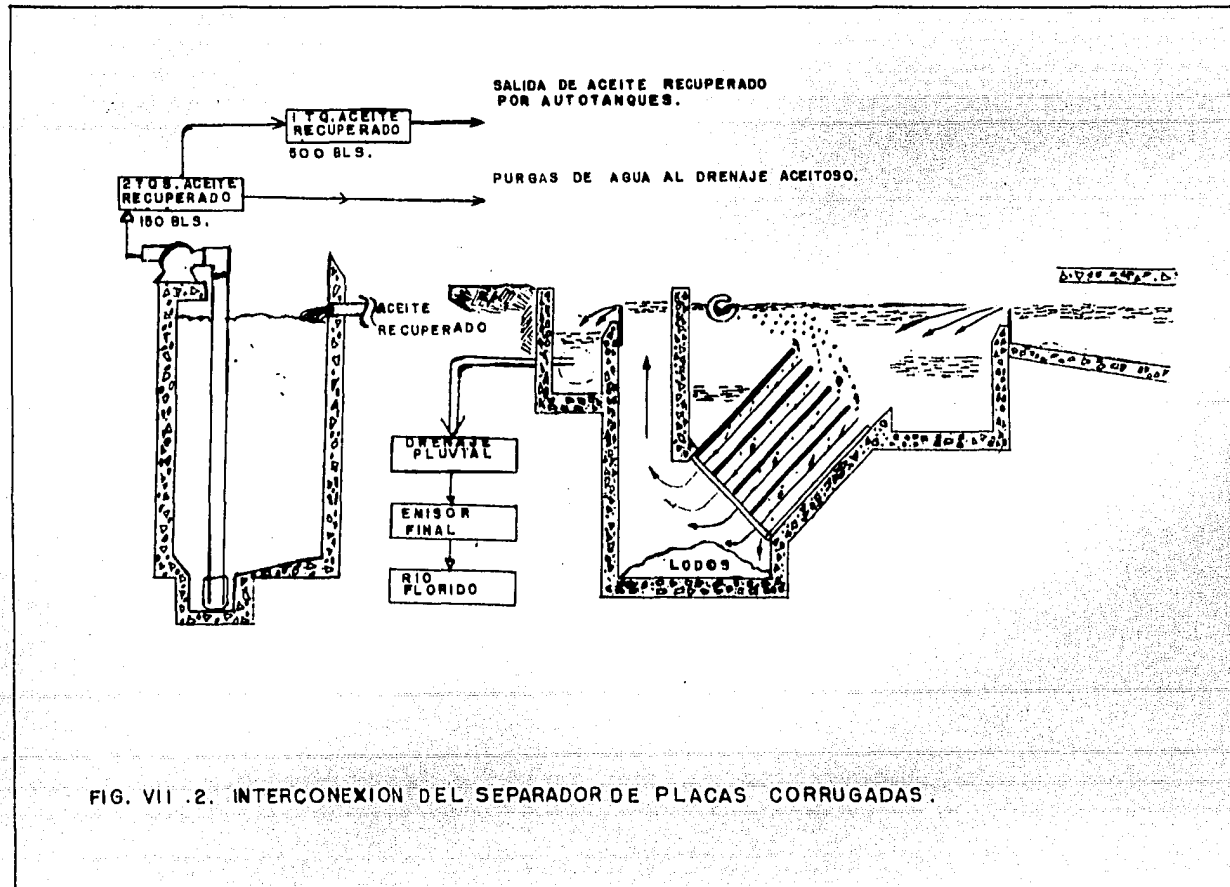


FIG. VII .2. INTERCONEXION DEL SEPARADOR DE PLACAS CORRUGADAS .

VII.2. Instalaciones mínimas necesarias.

1.- Dos cajas con dos paquetes de placas corrugadas cada una.

Los paquetes tendrán las siguientes dimensiones:

Altura : 1.03 m

Ancho : 1 m

Largo : 1.75 m

Una caja estará en operación normal y la otra en relevo.

2.- Dos tanques de aceite recuperado, con fondo cónico para separar trazas de agua, de 150 barriles de capacidad cada uno. Esto es con la finalidad de dejar reposar el aceite con agua de 4 a 43 días, según el flujo.

3.- Dos bombas centrífugas.

4.- Un tanque para aceite recuperado (sin agua) de 500 barriles de capacidad, de tal forma que será posible almacenar el aceite hasta por 16-180 días.

5.- Dos bombas centrífugas para llenado de autotanques.

6.- Un sistema de mallas de retención de partículas mayores de 5 mm. de diámetro, previo al separador, de tal manera que ayude a cumplir con el límite que fija la SARH en cuanto a materia flotante. Este límite establece que el agua residual no debe contener ninguna materia flotante que pueda ser retenida por malla de 3mm. de claro libre cuadrado. No se empleará malla de 3 mm. debido a que impediría el -

flujo del agua aceitosa. En el separador se retendrá una porción importante de estas partículas flotantes.

7.- Un sistema de canales que interconectarán al drenaje aceitoso con los separadores. Estos canales serán por duplicado con objeto de desasolvarlos y deberán tener integradas las mallas de retención de partículas (punto 6).

8.- Una fosa de captación de aceite recuperado, aledaña a los separadores, tal como se muestra en la figura VII.2.

El aceite recuperado captado en la fosa se enviará a los dos tanques de 150 bls. (punto 2), por medio de dos bombas (punto 3) accionadas automáticamente por alto y bajo nivel.

9.- Un canal que interconectará el separador de placas corrugadas con el drenaje pluvial, que será también tipo canal.

VIII.- CONCLUSIONES

En el dimensionamiento de los separadores API existen varios parámetros que se pueden manipular para cumplir con las necesidades de remoción de aceite y sólidos, ya que el API recomienda, en algunos parámetros, límites que se ha comprobado que son prácticos. En algunos casos, estos límites son resultado de la experimentación, no tienen un fundamento teórico. Así, si se quiere tener el separador más económico se va a un extremo del intervalo; si se quiere al separador que remueva mayor cantidad de aceite y sólidos se va al extremo contrario.

Los separadores API fueron muy empleados en refinerías, pero, en base a los estudios efectuados en distintas refinerías sobre tratamiento de aguas de desecho, se ha observado que el contenido de aceite en el efluente final después del tratamiento en los separadores API, excede los valores que se establecen en las reglamentaciones. Esto implica una posible contaminación en el cuerpo receptor que generalmente son ríos, lagos o mares y una pérdida considerable de aceite.

Además de no cumplir con la reglamentación, el separador API ha presentado problemas debido a la gran longitud requerida para manejar el volumen de agua de una refinería.

El separador de placas paralelas también es flexible para su diseño, ya que presenta parámetros que se pueden manipular y así obtener el separador más conveniente. Los problemas que presenta el separador API, en cuanto a contaminación y a

longitud, fueron solucionados en parte mediante la adaptación de placas paralelas, instaladas a lo largo del separador en dirección del flujo e inclinadas en cierto ángulo de la horizontal.

Resultados de experimentos indican que para una misma concentración de aceite en el influente y cierto flujo de agua, en los casos en que se operó con placas, la concentración de aceite en el efluente fue inferior a cuando se operó sin las mismas. Las placas paralelas no ocupaban todo el espacio del separador API. El principio de este sistema consiste en acortar la distancia de ascenso de la partícula de aceite que se recolecta bajo la superficie de las placas, lo que hace que el separador de placas paralelas sea más eficiente y de menor longitud que el API.

En los casos en que la reglamentación es muy estricta, como con las aguas residuales que tienen como receptor al Río Florido, los separadores de placas paralelas no son capaces de cumplir con los requerimientos.

El separador de placas corrugadas es capaz de remover partículas de aceite de cualquier tamaño, pero se recomienda usar el separador que cumpla solo con los requerimientos, pues si se pretende retener partículas muy pequeñas, el separador resulta muy grande.

El sistema más eficiente es el separador de placas coalescentes, ya que combina dos efectos: La diferencia de densidades y la acción coalescente. Este separador presenta el problema de que no se fabrica en el país y, debido a las actuales -

condiciones económicas, su adquisición es difícil. Las placas coalescentes son de acero y están recubiertas de polipropileno. El polipropileno no se fabrica en el país.

Si se quiere diseñar un separador más eficiente que los que actualmente se fabrican en el país, se podría intentar diseñar un separador semejante al de placas coalescentes, experimentando con algunos materiales de recubrimiento diferentes al polipropileno y de fabricación nacional.

Si se desea hacer una remoción secundaria de aceite con el fin de obtener efluentes de mayor calidad, la flotación con aire es un buen método. En este sistema, se aumenta la presión al efluente del separador por medio de una bomba. Después se agrega aire y se tiene a la mezcla bajo presión en un tanque de retención, el tiempo necesario para permitir que el aire se disuelva. Se disminuye la presión antes de llegar a un tanque de flotación, en donde las burbujas, el aceite suspendido y las partículas sólidas forman una espuma en la superficie.

Se ha observado que si al sistema de flotación se le adiciona antes una cámara de floculación, la remoción de aceite es mayor. Como floculante se ha usado la bentonita en combinación con polielectrolitos aniónicos o catiónicos.

En la actualidad, debido al grado de industrialización que se ha alcanzado en el país, la contaminación ambiental representa un problema muy serio; sin embargo, este es un asunto al que no se había dado la importancia debida, pues en mu-

chos casos, se carece de la información y tecnología adecuada para prevenir y disminuir la contaminación a niveles tolerables. En el asunto que aquí se expuso se enfrentaron dichas carencias, pues existe muy poca información sobre la separación aceite-agua que permita el diseño de equipo adecuado para el tratamiento de los efluentes aceitosos.

Esperando que sea de utilidad a las personas que se dedican a la preservación del medio ambiente, en este trabajo se hizo una recopilación, lo más completa posible, de los sistemas de separación agua-aceite a presión atmosférica.

IX.- BIBLIOGRAFIA.

- 1.- La economía del estado de Chihuahua.
Sistema Bancos de Comercio.
México, D.F., 1970.
- 2.- Estado de Chihuahua.
IIMPES.
- 3.- Waddington I.J.
"Water pollution by oil"
Published by: The Institute of Petroleum.
Londres, Inglaterra, 1971.
- 4.- American Petroleum Institute.
"Manual on disposal of refinery wastes".
Vol. 1: chapters: 2, 3, 5 y 6.
New York, 1969.
- 5.- Ramírez Z.A., Moreno L.O.
"Estudio experimental de separación de aceite-agua por
gravedad en equipo piloto".
Revista del IMP.
Julio de 1973.
- 6.- Miranda J.G.
"Sump design for oil-water separators".
Chem. Eng. Vol. 82: P. 85 (nov. 24, 1971)
- 7.- Miranda J.G.
"Design parallel-plates separators".
Chem. Eng. Vol 105: P.P. 105.- (jan.31, 1977).

- 8.- Bevchok M.R.
"Aqueous wastes from petroleum and petrochemical plants".
John Wiley and Sons.
London, England, 1973. p.p. 225-234.
- 9.- "Industrial wastewater and solid waste engineering".
Edited by the Staff of Chemical Engineering
Mc. Graw-Hill.
New York, N.Y., 1980. p. 87.
- 10.- "Corrugated plate Interceptors".
Monarch Separators, Inc.
- 11.- "Lancy corrugated plate separator"
Lancy International, Inc.
Technical bulletin number 8001.
- 12.- "Corrugated plate separator specifications"
ERC/LANCY DIVISION. DART AND KRAFT, INC.
Technical Specification number SP8001.
- 13.- "Coalescing plate oil/water separators".
General Electric.
- 14.- "Coalescing plate separators for environmental clean-up
and resource recovery".
Fram Industrial.
- 15.- "Manufacturer of oil-water separation systems".
Pacesetter Separator Company.
Bulletin No. 78-2.

- 16.- J.J. Brunsmann, J. Cornelissen and H. Eilers.
"Improved oil separation in gravity separators".
J. Water Pollution Control Federation. Vol 34(I).
44-55 (1962)
- 17.- Steinnour, Harold H.
"Rate of sedimentation".
Ind. Eng. Chem. Vol. 36. P P. 618, 840, 901 (1944).
- 18.- Beychock, Milton R.
"Wastewater treatment".
Hydrocarbon Processing. P P. 109-112. (Dec. 1971).