



01174
2^a ej.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
SECCION DE INGENIERIA PETROLERA

EVALUACION Y SELECCION DE LOS SISTEMAS DE
TRATAMIENTO PARA SEPARACION DE ACEITE DE
AGUAS RESIDUALES Y SU APLICACION EN LA
INDUSTRIA PETROLERA

T E S I S
Q U E P R E S E N T A
SERGIO EDUARDO PICAZO GARCES
P A R A O B T E N E R E L G R A D O D E
M A E S T R O E N I N G E N I E R I A

01174
1983

MEXICO, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1983



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.

I N D I C E

INTRODUCCION

	PAGS.
CAPITULO I. LEGISLACION SOBRE PROTECCION DEL AMBIENTE.	
I.1 Reglamentación Mexicana para el Control de la Contaminación	3
I.1.1 Registro de Descarga de Agua Residual	8
I.2 Legislación en E.E.U.U.	9
I.2.1 Equipos Para Tratamiento de Aguas	11
CAPITULO II. ASPECTOS AMBIENTALES DEL PETROLEO EN LA ECOLOGIA.	
II.1 Daño Ecológico	17
II.2 Efectos del Crudo Sobre Organismos	18
II.3 Efectos de las Grasas y Aceites sobre la Vida - Marina	19
II.4 Efectos de Aportaciones Naturales al Medio Marino	21
II.5 Efectos de Intemperización sobre el Petróleo	22

	PAGS.
II.6 Compuestos Inorgánicos en Aguas Congénitas Pro- ducidas	25
II.7 Aspectos Ambientales de Otros Parámetros . . .	26
II.8 Efectos de las Operaciones de Exploración y - Producción en el Mar	27
II.9 Disposición de Sólidos y Líquidos durante la - Exploración y Producción en el Mar	29
II.10 Descargas Programadas	30
II.11 Descargas Accidentales	38
CAPITULO III. CONCEPTOS SOBRE MUESTREO.	
III.1 Toma de Muestras, su Almacenamiento y Transpor- te	41
III.2 Recomendaciones Para el Muestreo	46
III.3 Preparación de las Muestras para Análisis . .	48
CAPITULO IV. GENERALIDADES ACERCA DE LOS TRATAMIENTOS DE EFLUENTES.	
IV.1 Pasos Básicos en el Tratamiento de Efluentes de Refinerías	54
IV.1.1 Separación de Aceite	55
IV.1.2 Tratamiento Biológico	63

IV.1.3 Eliminación Final de Sólidos Suspendedos . . .	71
CAPITULO V. ESTADO DE LA INVESTIGACION EN PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA LA SEPARACION DE - ACEITE	
V.1 Objetivos del Tratamiento	78
V.2 Selección del Método	79
V.3 Parámetros Utilizados para Cuantificar el Grado de Contaminación de un Agua Residual . . .	82
V.4 Determinación de Grasas y Aceites Solubles en Cloroformo	91
V.5 Características de Películas de Aceite	93
V.6 Fuentes de Aceite en Aguas de Desecho	94
V.7 Drenajes	95
V.8 Separadores Agua Aceite	102
V.8.1 Separadores Agua Aceite Tipo API	103
V.8.1.1 Principios Básicos de Diseño	105
V.8.1.2 Derivación y Definición de estas Relaciones	110
V.8.1.3 Número y Dimensiones Básicas de los Canales de un Separador	114
V.8.1.4 Ejemplo de Diseño de un Separador Gravimétrico Tipo API	116

	PAGS.
V.8.1.5 Análisis del Comportamiento del Separador .	119
V.8.1.6 Detalles de Diseño	123
V.8.1.7 Otros Aspectos y Criterios Sobre el Diseño de Separadores	124
V.8.1.8 Recomendaciones Generales para Hacer Modificaciones a Separadores Existentes	130
V.8.1.9 Operación y Mantenimiento	130
V.9 Métodos Químicos	133
V.10 Separador de Placas Corrugadas	135
V.11 Flotación con Aire	137
V.12 Disposición Subterránea de Agua Residual .	150
V.13 Filtración para Eliminación de Aceite . . .	152
V.14 Separadores de Agua de Desecho que se Utilizan en Plataformas	158
V.14.1 Método de Dimensionamiento Empírico	163
V.15 Dispositivos Mecánicos para la Recuperación de Aceite	165
V.15.1 Tipos de Equipos	168

CAPITULO VI.	EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE SEPARACION UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA MEXICANA PARA PREVENIR LA CONTAMINACION POR AGUAS ACEITOSAS	176
VI.1	Comportamiento de los Sistemas de Tratamiento	176
VI.2	Sistemas de Tratamiento de Agua de Lastre - de Buquetanques	181
VI.3	Comportamiento de Separadores	185
VI.3.1	Separadores API	185
VI.3.2	Separadores de Placas Corrugadas	193
VI.4	Flotación por Aire Disuelto	202
VI.5	Contribución de una Buena Dirección a la Solución del Problema de Contaminación por Desechos Aceitosos	205
VI.6	Simplificación del Sistema de Tratamiento	208
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	210
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	216

INDICE DE TABLAS

	PAGS.	
TABLA I	Rangos de Concentración Típica de Componentes Inorgánicos de Aguas Congénitas Producidas	25
TABLA II	Recomendaciones Para la Selección del Método de Tratamiento Para la eliminación de Materia Flotante y en Suspensión	81
TABLA III	Métodos Para la Determinación de Aceite en Agua y Aguas Residuales	85 - 86
TABLA IV	Características de Algunos Desechos - Típicos de Refinerías	89
TABLA V	Características de Películas de Aceite	94
TABLA VI	Valores de K (Flotación)	148
TABLA VII	Datos de Diseño Para Procesos de Flotación por Aire Disuelto	149
TABLA VIII	Capacidad Nominal de Recuperación de Aceite de Algunos Equipos Comerciales	171
TABLA IX	Resumen del Comportamiento de Sistemas de Tratamiento Para Salmueras - Acuosas	179 - 180
TABLA X	Eficiencias Típicas de Unidades de Separación de Aceite	187

	PAGS.
TABLA XI Eliminación de Aceite en Separadores API	188
TABLA XII Eliminación de Aceite Separador de Placas Corrugadas	193 - 195
TABLA XIII Comportamiento de Separadores API .	197
TABLA XIV Comportamiento de Separadores de Placas Corrugadas	197
TABLA XV Comportamiento de Separadores de Placas Corrugadas	198
TABLA XVI Eficiencias Típicas de Eliminación de Contaminantes en los Tratamientos Empleados en la Refinería de Salina Cruz, Oax.	200
TABLA XVII Eficiencia de Eliminación de Grasas y Aceites debida a la Acción de las Unidades de Tratamiento de Aguas Residuales	201
TABLA XVIII Datos de Comportamiento de Unidades de Flotación con Aire	203

INDICE DE FIGURAS

	PAGS.
FIGURA 1 Sistema para Lavado de Recortes de Perforación	32
FIGURA 2 Diagrama de Flujo Para el Tratamiento de Agua de Producción	37
FIGURA 3 Sistema de Tratamiento de Agua de Desecho de una Refinería	56
FIGURA 4 Unidad de Flotación por Aire Disuelto	59
FIGURAS 5 y 6 Unidad de Flotación por Aire Inducido	61 y 62
FIGURA 7 Esquema Simplificado del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de una Refinería Usando Filtros Biológicos .	66
FIGURA 8 Diagrama del Ambito de Aplicación de los Sistemas de Separación de Aceite .	90
FIGURA 9 Separación Típica de Drenajes en una Refinería	101
FIGURA 10 Separador de Placas Corrugadas	136
FIGURA 11 Nomograma para Dimensionar Paquetes de Placas Corrugadas	138
FIGURA 12 Solubilidad del Aire en Agua Dulce . .	143
FIGURA 13 Principio de D'Arcy para el Flujo por Gravedad de Dos Líquidos Mezclados a través de un Medio Poroso	157

PAGS.

FIGURAS 14 y 15	Separadores de Aceite Usados en Plataformas	160
FIGURAS 16, 17, 18 y 19	Equipos Recolectores de Aceite. . .	172 - 175
FIGURA 20	Sistema Para Recibir Agua de Lastre de Buques Petroleros	182
FIGURA 21	Tren de Tratamiento Para Aguas de Deslastre	184
FIGURA 22	Eficiencia de los Separadores API .	186
FIGURAS 23, 24, 25 y 26	Descarga Separador API Refinería Minatitlán	189 - 192
FIGURA 27	Diseño y Funcionamiento General del Separador de Placas Corrugadas . .	194
FIGURAS 28 y 29	Eliminación de Aceite y Sólidos Suspendedos en Separadores de Placas Corrugadas	196
FIGURA 30	Comparación de Eficiencias de Separadores	199

I N T R O D U C C I O N

I

El considerable volumen de petróleo que se produce, (en 1981 se produjeron aproximadamente 53.7 millones de barriles por día) y la tendencia en el incremento de la producción, la cual se espera aumente a un ritmo promedio del 3 % en los próximos ocho años, crea la necesidad de tener que manejar y transportar mayor cantidad de dicho producto, con el consiguiente riesgo de contaminación.

Además, el petróleo tiene que ser almacenado, mientras espera a ser procesado para obtener de él derivados que también tienen que transportarse. Durante este periodo, es posible que surjan ciertos incidentes, en los que se producen derrames de crudo que escurren al mar por medio de estuarios, lagunas y ríos, -- originando daños al medio ambiente.

Existen diferentes fuentes de contaminación como consecuencia de las variadas técnicas y actividades que se realizan para extraer dicho energético. Por ejemplo, durante la perforación de pozos, donde se utilizan fluidos con altas concentraciones de reactivos, para los que deben tenerse ciertas precauciones con objeto de reducir al mínimo las perturbaciones que pueden producir al ambiente.

De los materiales usados para la preparación del lodo, algunos son tóxicos o irritantes como álcalis, bactericidas, cromatos solubles e inhibidores de corrosión. Sin embargo, estos compuestos cuando se diluyen, disminuyen grandemente su toxicidad.

Otros materiales se han considerado tóxicos de efecto inmediato por error, entre ellos tenemos el sulfato de bario y algunos silicatos, los cuales sólo en casos de exposición prolongada producen ciertas afectaciones.

Por otro lado, en la producción de petróleo, es decir, una vez terminado el pozo, se tienen dos fuentes potenciales de contaminación: aceite y agua salada.

Una parte de los tóxicos presentes en el aceite, ya sea crudo o refinado, son los compuestos aromáticos de bajo punto de ebullición, los cuales retardan la efectividad de un sistema de tratamiento secundario debido a que no son altamente biodegradables.

Afortunadamente estos compuestos son de gran volatilidad y su toxicidad disminuye en gran cantidad al intemperizarse* el residuo.

Con respecto al agua salada congénita que se produce con el crudo, se puede decir que muchas veces presenta una composición parecida a la del agua de mar pero a veces con mayor concentración. La disposición de esta agua salada se hace generalmente en el mar o bien se reinyecta al subsuelo, siempre que se compruebe que no se ocasionará daño a los substratos o a pozos productores vecinos. En algunas ocasiones, éstas aguas residuales una vez que se han tratado para recuperar el aceite, se descargan a bahías o -

*Por intemperización deberá entenderse el efecto que sufre alguna sustancia al estar expuesta por tiempo indefinido al ambiente.

estuarios, previo estudio de la capacidad de dilución del cuerpo receptor.

Otro riesgo potencial de contaminación se presenta como consecuencia de un derrame accidental. Al ocurrir un derrame, éste se debe confinar para tratar que afecte la menor área posible, procediendo a continuación a recuperar el producto derramado.

Para dar una idea en cifras de la recuperación, se tiene que durante el año de 1981, se recuperaron aproximadamente en México 575,000 barriles de crudo, provenientes de acciones programadas, así como 105,000 barriles de derrames accidentales. Esto da un total de 680,000 barriles de crudo recuperado. (48)

Si de manera conservadora se establece un precio de 20 dólares por barril, dadas las características de este crudo ya intemperizado, se obtiene una cantidad de \$666'400,000.00, la cual es una cifra considerable, sobre todo si fuera posible destinarla a inversiones en las diferentes ramas productivas del país, o bien, reinvertirse en investigación acerca de nuevos sistemas de tratamiento.

Por otra parte, el efecto de los hidrocarburos sobre la vida terrestre no es totalmente conocido. Se sabe que el crudo mata plantas y animales, sobre todo aquellas especies que son incapaces de eludir este contacto y buscar situaciones más propi

cias para la vida. Pero sucede que el efecto de los componentes tóxicos del crudo se van perdiendo en forma natural por dilución, degradación bacteriana y por efectos climatológicos.

Los hidrocarburos como otros materiales se degradan por efecto de los agentes climatológicos, con lo que las zonas que en algún tiempo fueron afectadas por un derrame, vuelven a ser productivas y las plantas y animales vuelven a desarrollarse.

Una vez que han actuado dichos procesos naturales sobre la zona afectada por un derrame de crudo, y se ha logrado un resurgimiento de plantas, el hombre también puede intervenir para lograr la completa restauración del lugar.

Se puede remover la tierra, agregar ciertas cantidades de nutrientes, principalmente nitrógeno, fósforo y potasio, recolectar material que aún presente residuos para quemarlo y tratar de sembrar algún tipo de pasto. Se encuentra en investigación todavía, la posibilidad de mezclar con la tierra afectada ciertas cepas de microorganismos que ayuden a degradar rápidamente los residuos remanentes en el lugar. Esta posibilidad representa una opción más de rehabilitación de suelos.

Los microorganismos involucrados en la degradación de hidrocarburos son numerosos y los más comunes son Gram Negativos, entre ellos tenemos Pseudomonas y Alcalifgenos, Micrococos, Co

rinebacterium, Micobacterium, Nocardia y Penicillium, Cándida sp. (20).

Ciertos estudios realizados por Parker (1969), demostraron que el Calamus finmarchicus, organismo presente en el zoo--plancton, puede encapsular 150 µg de aceite por día. (32).

A continuación se mencionan algunos de los géneros de bacterias aeróbicas degradadoras u oxidantes del petróleo:

Pseudomona putidae --- Benceno, Tolueno y Naftaleno.

P. metánica --- Bifenil-Fenantreno.

P. oleovorans --- Octano.

Beijerinckia sp --- Bifenil-Fenantreno.

Arthrobacter sp --- Petróleo crudo.

Corynebacterium hidrocarboclastus --- Parafinas C₂₅ a C₃₅.

Micrococcus cerificans --- Dodecano, Hexadecano.

Microbacterium smegmatis --- Etano, Propano.

Todo lo anterior ha dado como resultado que la Industria Petrolera se preocupe en desarrollar y aplicar tecnología encaminada a dar tratamiento a sus residuos líquidos, con objeto de producir un efluente que cumpla con los requisitos que marca la Ley Federal para Protección del Ambiente, actualmente en vigor, y que cause el mínimo efecto al cuerpo de agua que recibe la descarga.

La elección de la técnica apropiada para dar a un residuo lfido el tratamiento que requiere, involucra el conocimiento de un grupo de factores entre los que pueden mencionarse:

- Propiedades físico-químicas del residuo a manejar.
- Técnicas de muestreo y analíticas aplicables al de secho para caracterizarlo.
- Alcance de cada uno de los procesos de tratamiento existentes.
- Legislaciones vigentes cuyas disposiciones hay que cumplir para establecer las condiciones particulares de descarga del desecho.
- Fuente de emisión del contaminante.
- Posibles consecuencias que una descarga mal tratada puede causar al ambiente.

Como es posible notar, todos éstos conceptos están relacionados de una u otra forma a la Prevención y Evaluación de la - Contaminación, pero es indispensable considerar, como lo ha hecho la industria petrolera, el aspecto del Control de la Contaminación, una vez que ésta se ha producido en forma accidental.

Con el fin de conocer como atacar los problemas de contaminación y saber como controlarla, es conveniente estar familiarizado con los diferentes tipos de técnicas existentes para eva

luar y confinar un derrame de hidrocarburos, partiendo de las características y volumen del producto derramado, así como de los diferentes tipos de equipo y dispositivos con que se cuenta para la recuperación del mismo.

Como es conocido por todos se han escrito infinidad de libros, revistas y artículos técnicos sobre diversos temas de protección ambiental, relacionados principalmente con sistemas, procesos y tratamientos de efluentes, los cuales se desconocen, no se consiguen o se carece de tiempo para consultarlos.

Muchos de estos textos se enfocan sobre el campo de la Ecología, otros lo hacen en el aspecto Toxicológico y algunos tratan la parte concerniente al diseño, pero sólo de algún proceso en especial.

Dentro de estos últimos, tenemos libros sobre tratamientos primarios, tratamientos secundarios y tratamientos avanzados, pero es raro encontrar en un solo libro aspectos legales, ecológicos, de diseño y de prevención y control de la contaminación.

La parte novedosa de este trabajo lo constituye la presentación del método de cálculo de separadores API ilustrado con un ejemplo numérico real aplicado a la Refinería de Salamanca, la presentación del método de cálculo simplificado de paquetes de placas corrugadas, así como el compendio de métodos varios de

sistemas de separación de aceite, aspectos legales, efectos del petróleo, recomendaciones de muestreo y criterios empleados para el dimensionamiento de Sistemas de Tratamiento.

Por lo antes expuesto y con el fin de compendiar en un solo texto o manual algunos de los muchos criterios y formas de proceder para solucionar un problema de un derrame de hidrocarburos o el de dar un tratamiento adecuado a un desecho líquido que se produzca en alguna instalación, el objetivo de ésta tesis, tomando en cuenta las limitaciones de tiempo y espacio, se centra en proporcionar a las personas interesadas y no familiarizadas con el tema una descripción de puntos claves y criterios básicos para planear un sistema de tratamiento de aguas residuales, en base a experiencias propias y aquellas que aplica en forma común la Industria Petrolera Mexicana, esperando que sean de utilidad para aquellas personas que consulten este trabajo.

C A P I T U L O I

LEGISLACION SOBRE PROTECCION DEL AMBIENTE

I LEGISLACION SOBRE PROTECCION DEL AMBIENTE

Generalmente la contaminación resultante de las actividades realizadas en tierra firme, se controla en el Marco de las Leyes y las medidas administrativas aplicables a los recursos hidráulicos continentales. Estas técnicas legislativas y métodos administrativos varían considerablemente dependiendo de la fuente de donde provenga la contaminación (doméstica e industrial).

En muchos países existen estrictas prohibiciones las cuales se utilizan con objeto de proteger los recursos hidráulicos y en general, el medio ambiente de la contaminación. Sin embargo, es necesario seguir dictando disposiciones estrictas más específicas, las cuales prohíban o controlen la descarga de determinadas sustancias sumamente nocivas como por ejemplo: residuos radiactivos, descargas procedentes de la industria siderúrgica, compuestos de mercurio e industria de la celulosa y el papel. En algunos países como es el caso de Canadá y México (recientemente en éste último), se exige autorización previa, mediante la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA), para el establecimiento de industrias capaces de producir contaminación.

Tal sistema de autorización previa debe ser lo suficientemente amplio para poder controlar la contaminación tanto de aguas interiores como de aguas marítimas territoriales, puesto que éste último renglón no contiene límites definidos para contaminantes, permitiendo así el vertimiento indiscriminado e ilegal de aguas residuales al ecosistema marino.

En otros países, este tipo de legislaciones en materia de contaminación, está tan desarrollada que se otorgan subvenciones o es tículos fiscales para promover la construcción de instalaciones de tratamiento.

I.1 REGLAMENTACION MEXICANA PARA EL CONTROL
DE LA CONTAMINACION (40), (41) Y (42)

En nuestro país existe y está actualmente en vigor la Ley Federal para Protección del Ambiente, promulgada el 11 de enero de 1982, la cual substituyó a la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, que fué publicada en el Diario Oficial el 23 de marzo de 1971.

Esta Ley cuenta, respecto al agua, con el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas del 29 de marzo de 1973, el cual fue modificado en sus Artículos 24 y 70 mediante un Decreto Presidencial publicado en el Diario Oficial el día 22 de diciembre de 1975.

Por último se dispone de la Ley Federal de Aguas, publicada el 30 de diciembre de 1971.

El Reglamento citado, en forma general se enfoca en dos aspectos fundamentales:

- 1.- Prevenir la contaminación de todas aquellas aguas del país que aún guardan sus características naturales, tratando de aprovechar al máximo su capacidad de asimilación ó dilución de contaminantes, de tal manera que no se altere su calidad, según el uso que se haga o se pretenda hacer de ellas.

- 2.- Controlar la contaminación de las aguas de aquellos cuerpos receptores cuya calidad se ha deteriorado, con el fin de que con la ayuda de todos los sectores interesados, readquieran gradualmente la calidad necesaria para el uso que se hace de ellas.

En el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas, cuya aplicación compete principalmente a la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, se tiene un Plan de Acción que involucra el desarrollo de una serie de actividades comprendidas en tres etapas básicas que son:

- a) Registro de todas las descargas de aguas residuales provenientes de usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas o pecuarios, con excepción de las originadas en las casas habitación, ante la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

Para ésta actividad, los responsables de las descargas tienen un plazo de 6 meses a partir de la fecha en que entre en vigor el Reglamento y 4 meses a partir de que entren en operación estas descargas, previo aviso a la citada dependencia. Este registro tiene por objeto levantar un inventario de descargas, así como obtener la informa-

ción necesaria para determinar, en base a la calidad del agua de los cuerpos receptores que reciben las descargas, las acciones que son necesarias de adoptar para prevenir y controlar la contaminación de las aguas.

Para esto existe la forma de Solicitud de Registro modificada (PCA-2).

A partir de la fecha del registro, se tiene un plazo de 3 años para cumplir con cinco características básicas de calidad, (Tabla No. 1 del Art. 13 del Reglamento).

Sólidos sedimentables	Máx.	1.0 ml/l
Grasas y aceites	Máx.	70 mg/l
Materia flotante		Ninguna que pueda ser <u>re</u> tenida por malla de 3 mm. de claro libre cuadrado.
Temperatura	Máx.	35°C
pH		4.5 - 10.0

Las descargas que requieran de instalaciones de tra

tamiento para que su calidad cumpla con los cinco requisitos de calidad, deberán presentar a la S.A.R.H. en un plazo de 10 meses a partir de la fecha de tramitación del Registro, un Informe Preliminar de Ingeniería que contenga las siguientes fases:

- 1) Trabajos internos
- 2) Trabajos externos
- 3) Adquisiciones
- 4) Construcción
- 5) Cumplimiento

Este informe debe estar autorizado por un profesional, con cédula expedida por la Secretaría de Educación Pública.

En esta etapa la S.A.R.H pondrá a disposición de la Secretaría de Salubridad y Asistencia una copia del Registro y del Informe Preliminar de Ingeniería para que intervenga en aquella industria, que se considere que cuyas descargas pueden poner en peligro la salud pública.

- b) Cumplimiento por parte de los responsables de las --descargas, de lo establecido por ellos mismos en su-

Informe Preliminar de Ingeniería y de los cinco requisitos de calidad de su descarga.

- c) En esta etapa la S.A.R.H. y la S.S.A. por conducto de la Subsecretaría del Mejoramiento del Ambiente, - determinará y fijará las condiciones particulares para las descargas de aguas residuales, las cuales consistirán de características físicas, químicas y bacteriológicas que deberán satisfacer dichas aguas residuales para poderse descargar a un cuerpo receptor.

Asimismo, las autoridades competentes fijarán los - plazos para dar cumplimiento a estas condiciones particulares de descarga.

Por otra parte, se puntualizan en el Reglamento los valores máximos permisibles para la descarga de sustancias - tóxicas en los cuerpos receptores; y la facultad de los responsables de las descargas para poder agrupar se para construir una planta común para el tratamiento de las mismas. Se establecen los diversos tipos de sanciones para las infracciones a lo dispuesto en

sus artículos, así como el procedimiento para aplicarlas, concediendo al infractor el recurso administrativo de inconformidad.

Para la calificación de las sanciones se toma en --- cuenta lo siguiente:

- 1) Carácter intencional ó imprudente de la acción.
- 2) Consecuencias que la contaminación origine ---- (daños).
- 3) Condiciones económicas del infractor.
- 4) Reincidencia.

Por último, el Reglamento concede la acción popular para que cualquier persona denuncie ante la S.A.R.H. ó la S.S.A. la existencia de fuentes de contaminación de agua. Haciendo la debida identificación del denun-
ciante, para proceder como corresponda.

I.1.1 REGISTRO DE DESCARGA DE AGUA RESIDUAL

Información que debe contener:

- 1.- Datos generales del solicitante.
- 2.- Características del Agua Original (Cruda).

- 3.- Características generales de la descarga.
- 4.- Petición para que se le fijen condiciones particulares a la descarga.
- 5.- Características de calidad del agua residual descargada, referente al Artículo 13 del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas.
- 6.- Características de Calidad del Agua Residual Descargada, referentes al Artículo 8 del citado Reglamento.
- 7.- Características adicionales de Calidad del Agua Residual Descargada.

I.2 LEGISLACION EN EEUU (31)

Existen en los Estados Unidos una serie de Legislaciones para -- salvaguardar el ambiente sobre todo en operaciones costa afuera, una de las más importantes (Reglamentos y Órdenes de la Outer -- Continental Shelf) ha surgido como el fruto de trabajos de investigación y de la adopción de las tecnologías de operación más modernas. A continuación comentaremos algunos de sus aspectos principales.

- Contaminación y eliminación de desechos.

Esta sección (Orden No. 7) cubre temas relacionados con métodos para eliminar residuos. Menciona aspectos como:

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

aceite a menos que éste sea eliminado.

- 3.- Sólidos de otro tipo que se generen en plataformas deben trasladarse a la costa para darles tratamiento.
- 4.- Se deben inspeccionar periódicamente las plataformas para ver si no existen en ellas posibles fuentes de contaminación.

- Tratamiento de Aguas de Desecho

Sobre este tema se dispone de la Orden No. 8 de la OCS, la cual da las recomendaciones a seguir para el manejo y disposición de aguas residuales que se descargan a cuerpos receptores, los cuales están clasificados según el uso que se les da.

Las recomendaciones principales son:

- 1.- Todos los sistemas para el tratamiento de aguas residuales deberán diseñarse de tal forma que el contenido de aceite en el agua que se descarga no sea mayor a un promedio de 50 ppm.
- 2.- Se debe muestrear 4 veces al mes durante un período de 24 horas y se deben efectuar mediciones de pH, temperatura, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, contenido total de aceite y volumen total de la muestra.
- 3.- No se permite descargar ningún efluente que contenga más de 100 ppm de aceite.
- 4.- Se debe enviar un reporte anual de los resultados, por escrito, a la oficina de la autoridad competente.
- 5.- Se requieren instalar sistemas de eliminación de drenajes

- para poder descargar a las aguas superficiales.
- 6.- Los drenajes después del tratamiento deben contener 50 ppm de DBO, 150 ppm ó menos de sólidos suspendidos y tener -- un contenido de cloro residual de 1 mg/l después de un -- tiempo de retención mínimo de 15 minutos.
 - 7.- Los lodos de perforación base agua que esten libres de -- aceite pueden arrojarse al mar, los que esten contamina-- dos con aceite emulsionado deberán lavarse antes de elimi-- narlos.
 - 8.- Los lodos de perforación base aceite ó tipo emulsión in-- versa deben ser colectados y almacenados para llevarlos a la costa y ahí darles tratamiento.

I.2.1 EQUIPOS PARA TRATAMIENTO DE AGUAS

El agua que se produce en un separador convencional contiene muchas veces, diminutas gotitas de aceite, lo cual impide que pueda ser descargada directamente al mar.

Estas aguas pueden tratarse de muchas formas, cada una de las -- formas de tratamiento tiene sus aplicaciones particulares.

Los tanques, lagunas, separadores API son adecuados si el aceite no se encuentra emulsionado. Si además tiene sólidos presentes y hay disponibilidad de espacio para proporcionar tiempo de resi-- dencia, es posible utilizar filtros coalescedores para darle tra-- tamiento.

Cuando se requiere de un tratamiento posterior, lo recomendado - por la experiencia indica lo siguiente:

- 1.- Uso de Celdas de Flotación.- Las cuales mantienen la cantidad del efluente entre 20 y 50 ppm de aceite.
- 2.- Coalescedores de Placas.- Al operarse a gastos muy inferiores a los indicados por el fabricante, producen agua con un contenido de aceite de 25 a 100 ppm.
- 3.- Coalescedores con Medios Fibrosos.- Trabajan satisfactoriamente cuando los medios filtrantes son nuevos, pero éstos se deterioran rápidamente. Presentan problemas de operación y de disposición de cartuchos filtrantes usados.
- 4.- Coalescedores de Medio Filtrante Fijo.- Inicialmente reducen a buenos niveles el contenido de aceite del agua de desecho, pero cuando se van ensuciando, ya no operan bien. La necesidad de retrolavarlos produce problemas secundarios de acumulación de otros desechos.

C A P I T U L O I I

ASPECTOS AMBIENTALES DEL PETROLEO EN LA ECOLOGIA

II ASPECTOS AMBIENTALES DEL PETROLEO EN LA ECOLOGIA (19)

Las actividades de producción, refinación y transporte de crudo producen cierto tipo de aguas residuales aceitosas, - las cuales tarde o temprano van a parar al mar. El aceite - contenido en estos desechos puede afectar al ambiente marino de muchas maneras.

Una de las formas de afectación resulta de la destrucción - de microorganismos que son vitales para la cadena alimenticia en el mar.

Hay que considerar que los efectos del crudo en estuarios, bahías y pantanos son mucho más delicados que los que se -- producen en mar abierto, dado que en estas zonas se concentra generalmente la productividad pesquera de la región.

Existen además dos factores a considerar en el caso de contar con la presencia de aceite que afecte a los organismos, el cual puede provenir de un derrame (lo que implica una - gran cantidad de aceite en un tiempo corto), o bien de una aportación natural constante al medio (pequeña cantidad de aceite en un largo periodo de tiempo).

El aceite presente algunas veces en pantanos, estuarios y - bahías, el cual puede ocasionar deterioro en dichos cuerpos

receptores, tiene su origen de pozos en producción ó en -- perforación, tanques de almacenamiento, baterías de separación, plantas deshidratadoras y tuberías para el transporte, como consecuencia de fugas en equipo, mala operación, falta de cuidado y mal diseño de equipo.

El efecto del aceite va a depender de factores tales como, dosis, tipo de aceite, estación y clima de la zona, biota existente en el área, exposición previa de la zona a petróleo u otros contaminantes y a las técnicas usadas para -- controlar los derrames.

La exposición de un área a un derrame de crudo ligero puede causar daños biológicos agudos. Estos derrames afectan aves, peces y pequeños organismos marinos, tanto planctónicos como bentónicos.

Las aves se ven afectadas en la primera etapa del derrame manchando sus plumajes, aún cuando en ocasiones se ha atrapado a las aves y se les limpia el aceite que las cubre, -- esto elimina también su protección de aceites naturales -- que poseen, por lo que mueren (se ha observado un 10% máximo de supervivencia después de que un ave ha sido afectada).

Según parece que, en el caso de los mamíferos, estos no sufren daño alguno al producirse un derrame.

Los efectos sobre los peces son mínimos también, debido a que estos son capaces de evitar áreas contaminadas que no son propicias para la vida.

Las formas de vida planctónicas y benthicas son las que sufren los mayores daños, ya que los compuestos aromáticos y los solubles del petróleo son muy tóxicos para estas especies.

Desde el punto de vista biológico podemos establecer que los efectos sobre los diferentes organismos se comportan de la siguiente manera:

		INCREMENTO DE EFECTO BIOLÓGICO
INCREMENTO DE EFECTO BIOLÓGICO ↓	Tipo de Aceite	Tipo de Organismo
	Crudo Pesado Crudo Ligero	Mamíferos, Peces, Plancton, Bentos, Aves

El recubrimiento con aceite de los sustratos, vegetación y animales puede causar un alto nivel de mortalidad. Los animales cuya alimentación se basa en el filtrado de agua, como son los ostiones, pueden adquirir sabor aceitoso, haciéndolos imposibles de consumirse por el hombre.

Los procedimientos de limpieza de derrames accidentales de aceite, cuando éste no se puede recuperar, ha permitido el uso indiscriminado de agentes dispersantes, los cuales pueden causar mayor daño y riesgo de contaminación. (17)

Lo anterior se debe a las siguientes razones:

1. Los agentes químicos dispersantes pueden causar que el aceite se absorba en el lodo ó partículas sedimentables las cuales se adhieren al sustrato ó flotan en la columna de agua, donde están a disposición de organismos que se alimentan por filtración de agua (organismos filtradores).

2. El aceite absorbido en partículas del fondo parece tomar más tiempo para degradarse.

3. El uso de dispersantes añade otra carga de material extraño e indeseable al ecosistema. Muchos dispersantes que se han probado han tenido características más tóxicas que el aceite.

4. La dispersión del aceite evita el marcado, control y estudio apropiado de las áreas afectadas.

5. El aceite flotante probablemente es el que menos daño causa al medio debido a que se degrada más rápido mediante evaporación y agitación producida por las corrientes marinas.

En plataformas se desconoce con certeza el efecto de la contaminación crónica causada por las instalaciones, las cuales descargan diariamente pequeñas cantidades de aceite y otros productos químicos, que parecen no generar problemas ecológicos debido a la inmensidad relativa de los volúmenes de agua de mar. Pero existe el peligro de que estos contaminantes se acumulen hasta un nivel tal que causen degradación irreversible al ambiente.

Las plataformas también causan problemas a la navegación y a la pesca por el peligro de rompimiento por imprudencia de alguna de las líneas de transporte de productos, pero con ello colaboran con la ecología del lugar, puesto que hacen las veces de bancos coralíferos artificiales, permitiendo la concentración de peces que buscan comida y refugio.

II.1 Daño Ecológico

Antes de intentar describir los diversos impactos de las actividades de la industria petrolera sobre el ambiente, debería estar bien definido qué es lo que constituye un daño ambiental o ecológico, para ver si es causado por una decisión mala o inapropiada sobre el ambiente.

Un daño ecológico significativo es aquel que produce un cambio permanente o de largo plazo en el ecosistema, el cual --

reduce su eficiencia y le resta productividad. Generalmente, estos cambios son física y económicamente irreversibles. Involucran variación en los patrones de drenaje, cambios en la velocidad, volumen y frecuencia de los flujos de agua, reducción de los ciclos de inundación, intrusión de sal y agua, y formación de estancamientos y diques.

Estos eventos se producen como resultado de dragados para la calización de pozos, instalación de líneas, inundaciones controladas, tierras recuperadas o de cualquier otra actividad que produzca rearrreglos en el ecosistema, los cuales afectan su productividad normal.

Otros daños permanentes al sistema se producen de la reducción o pérdida de calidad del agua debida a efectos de acumulación de contaminación.

La contaminación puede provenir de una ó de varias fuentes, las cuales cuando se examinan individualmente parecen ser -- inocuas y no tener efectos serios sobre el medio ambiente.

II.2 Efectos del Crudo sobre Organismos

Para cuantificar los efectos del crudo sobre diferentes especies, principalmente marinas, se efectúan Bioensayos.

Un bioensayo no es más que un conjunto de pruebas in vivo -- que se realizan con la especie que se desea experimentar, - dosificando diferentes cantidades de sustancias con el fin de determinar su toxicidad.

Se ha encontrado a lo largo de muchas pruebas que los com--- puestos más elaborados son mucho más tóxicos que los aceites crudos, además para que una sustancia dé muestras de toxi-- cidad se requiere una concentración del orden de sólo unas - partes por millón (ppm).

Por fortuna, cuando se produce un derrame de crudo, por me-- dio de la dilución con el agua del mar, la concentración de contaminantes declina rápidamente a niveles por debajo de -- los considerados tóxicos.

Un descubrimiento interesante logrado por Gordon y Prouse, - mostró que una concentración de 30 ppb de hidrocarburos en - el agua de mar estimuló el crecimiento del fitoplancton en - experimentos de laboratorio. Concentraciones mayores inhi-- ben el proceso de fotosíntesis.

II.3 Efectos de las Grasas y Aceites sobre la Vida Marina

En 1970, el Instituto Americano del Petróleo inició un estu-

dio de investigación para conocer los efectos de las grasas y aceites sobre el ambiente marino.

Uno de los puntos investigados versó sobre la contaminación de los organismos marinos y la posibilidad de que la concentración de dichos contaminantes pudiera afectar en forma grave la cadena trófica, de tal forma que fuera un riesgo potencial al hombre.

Es indudable que un organismo al contaminarse con aceite no puede deshacerse de él totalmente, pero ¿ hasta que punto retienen dichos organismos todo el aceite que han acumulado ?.

En muchas investigaciones se ha encontrado que organismos -- que han estado expuestos a hidrocarburos de diferentes tipos, cuando se les pone en un medio limpio, eliminan los contaminantes hasta niveles de concentración cercanos a los presentes en la naturaleza.

Entre los efectos que producen los derrames de crudo a los medios marinos, deben distinguirse aquellos que son inmediatos y los que tienen consecuencias a largo plazo.

Por ejemplo, un crudo ligero tiene sus efectos más severos a corto plazo, debido a que mediante los fenómenos de intem-

perización se produce una desaparición del producto.

II.4 Efectos de Aportaciones Naturales al Medio Marino

En realidad se desconocen muchos de los efectos que producen en los organismos las aportaciones de aceite provenientes de las chapopoterías naturales.

Se han encontrado evidencias publicadas, por ejemplo, Per--- charge, un oceanógrafo e investigador, reportó que en Trinidad Tobago ciertos moluscos tienen preferencia a vivir en un habitat con agua contaminada con hidrocarburos. Estos moluscos han experimentado ciertos cambios morfológicos en su concha, además de que presentan aspecto, olor y sabor a petróleo.

Los diferentes organismos tienen distintas resistencias al petróleo, así Mironov, mostró que una baja concentración de hidrocarburos podía reducir la tasa de respiración de algunas especies de zooplancton y de fitoplancton. Pero lo importante de estos efectos es que estos no lleguen a alterar la cadena trófica del océano causando con ello una grave --- disminución de la productividad de algunos organismos.

Por otra parte es bien conocida la naturaleza carcinogénica

de ciertas fracciones aromáticas polinucleares del petróleo, pero la cuestión aquí es ¿ hasta que punto las concentraciones de estos compuestos llegarán a alcanzar niveles peligrosos para el hombre, si se acumulan en la carne de los peces que el ser humano consume ?

Para poder contestar esto, es necesario realizar mucha investigación adicional al respecto.

II.5 Efectos de Intemperización Sobre el Petróleo

El crudo expuesto al ambiente sobre la superficie del agua o de la tierra está sujeto a muchos procesos físicos y químicos simultáneos, los cuales pueden hacerle disminuir su volumen, así como también su composición. El proceso cuyo efecto predomine sobre el crudo, dependerá del tiempo que este actúe y de la naturaleza del mismo petróleo.

De una manera general, es posible decir que sus componentes de bajo punto de ebullición se evaporan y los residuos del crudo se emulsionan con el agua ó se mezclan con la tierra, sufriendo procesos de dilución, evaporación, dispersión, -- emulsificación, oxidación, mezclado y además biodegradación. Los diferentes hidrocarburos que forman parte del petróleo se ven afectados en diferentes tiempos, dependiendo de su peso molecular y de su estructura. La velocidad con que --

los hidrocarburos se ven modificados depende de las condiciones climatológicas imperantes en la zona de exposición como son: temperatura, vientos, humedad relativa, etc.

El fenómeno de la evaporación produce sobre el crudo los cambios en propiedades más rápidamente perceptibles por métodos de análisis convencionales. Las pérdidas por evaporación en el crudo remanente causan que éste tenga valores de sus propiedades físicas y químicas más altos que lo usual.

Las propiedades que más se ven alteradas son la densidad relativa, viscosidad, contenido de ceras, asfaltenos, temperatura para un determinado rendimiento en destilación, punto flash, residuo de carbón, azufre y contenido de metales.

Un aceite no intemperizado tiende a formar emulsiones muy estables con el agua, con lo que el volumen de contaminante -- (en este caso el aceite) parece ser mucho mayor que la cantidad real de aceite derramado.

Las solubilidades de hidrocarburos en agua es variable, aunque los compuestos aromáticos de bajo peso molecular son los más solubles. La solubilidad disminuye gradualmente en los compuestos aromáticos, naftenos, isoparafinas y n-parafinas, es decir, al aumentar el peso molecular.

Los procesos de degradación química que afectan al crudo son muy bien entendidos, ellos son principalmente reacciones de oxidación foto-catalíticas y polimerizaciones.

Los productos de la oxidación son por lo general más solubles que los hidrocarburos que dieron origen a ellos y son fácilmente eliminados del ambiente marino por oxidaciones posteriores y degradación microbiológica.

En la intemperización de materiales contaminantes presentes en los residuos de crudo, el fenómeno de degradación química tiene un mayor efecto que la disolución sobre la porción no evaporada del crudo.

El fenómeno de degradación microbiológica afecta inicialmente a los compuestos n-parafínicos y disminuye su ataque gradualmente a los siguientes compuestos: isoparafinas, naftenos y aromáticos.

La velocidad de este tipo de ataque es lenta, por lo cual es difícil asegurar que cualquier cambio producido es debido a tal ó cual contaminante ó proceso. Este tipo de aseveración con respecto a que algún cambio en las condiciones naturales sea detectado por análisis pueda deberse a contaminación es muy difícil de hacer y depende de la cantidad de ma-

terial analizado, condiciones de exposición y método de análisis.

II.6 Compuestos Inorgánicos en Aguas Congénitas Producidas

Estudios acerca de la composición de las aguas producidas de los yacimientos de aceite ha mostrado que los cationes que predominan son: Sodio, Calcio y Magnesio.

Las concentraciones típicas son:

Sodio	23000	a	57000 mg/l
Calcio	2500	a	25800 mg/l
Magnesio	100	a	5000 mg/l

Los iones metálicos presentes en aguas congénitas (Tabla I) son comunes y están contenidos también en el agua de mar. Los metales considerados tóxicos están presentes en concentraciones muy bajas.

Tabla I Rangos de Concentración Típica de Componentes Inorgánicos en Aguas Congénitas Producidas. (8)

<u>Componentes</u>	<u>Concentración Típica</u>
Na, Cl.	Miles de ppm
Ca, Mg, $SO_4^{=}$	A veces >300 ppm
K, Sr.	50 ppm
Al, B, Ba, Fe, Li	1 a 50 ppm
Cr, Cu, Mn, Ni, Sn, Ti, Zr.	ppb (en la mayoría de las aguas producidas)
Be, Co, Ge, Pb, V, W, Zn, Ga.	ppb (en algunas de las aguas producidas).

Se ha llegado a reportar la existencia de dos compuestos bastante tóxicos (Hg y Cd) en el efluente de unidades de -- producción en plataformas, aunque se tuvieron en niveles por debajo de los mínimos detectables (Hg: 0.5 ppb y Cd: 50 ppb).

II.7 Aspectos Ambientales de otros Parámetros (8)

Los parámetros que se analizarán desde el punto de vista ambiental y los efectos que producen son: salinidad, oxígeno disuelto, compuestos orgánicos diferentes a hidrocarburos y temperatura.

Salinidad.- Muchas de las aguas producidas contienen cerca - de 110000 - 200000 ppm de sólidos disueltos totales en comparación de las 36000 a 42000 ppm contenidas en el agua de mar. El efecto que produce descargar estas aguas en cuerpos receptores con mucha menor concentración de salinidad, puede ser grave, dependiendo del volumen de dilución que se tenga en - dicho cuerpo receptor.

Oxígeno Disuelto.- Depende de la dilución tal y como sucede con la salinidad. Las bajas concentraciones de oxígeno disuelto que se han encontrado en plataformas no es imputable a las aguas producidas, sino a la gran comunidad biótica que vive y se alimenta cerca de las patas de las plataformas.

Compuestos Orgánicos Diferentes a Hidrocarburos.- Se encuentran en concentraciones menores a las que se tienen de hidrocarburos. Por lo que se alcanzan, por medio de la dilución, niveles de concentración que no presentan significancia alguna.

Temperatura.- Las aguas producidas por lo general se encuentran a temperaturas mayores que las aguas de la región, pero la dilución transforma los gradientes de temperatura en no detectables.

II.8 Efectos de las Operaciones de Exploración y Producción en el Mar. (9)

El desarrollo de campos petroleros localizados en el mar, se asocia muchas veces con el temor de que, como consecuencia de la perforación y la explotación, se genere una gran contaminación marina, principalmente por hidrocarburos.

Los mares que constituyen las dos terceras partes de la superficie terrestre, efectivamente tienen una gran importancia desde el punto de vista ambiental, debido a que están constituidos de una enorme cantidad y variedad de nichos ecológicos a los que cada vez se presta mayor atención, por ser fundamentales para el sustento de la vida en general en su interacción con los ecosistemas terrestres.

La definición de contaminación marina que aceptan los organismos especializados de las Naciones Unidas y sus asesores expertos es la siguiente: "La introducción por el hombre, - en forma directa ó indirecta, de substancias o energía dentro del ambiente marino (incluidos los estuarios), con el resultado de efectos nocivos, tales como perjuicios para los recursos vivientes, peligros para la salud humana, obstáculos para las actividades marinas (incluida la pesca), empeoramiento de la calidad para el empleo de agua de mar y reducción de las posibilidades de esparcimiento". A pesar de la amplitud de esta definición, la principal preocupación sigue siendo la influencia a largo plazo de los contaminantes sobre la viabilidad de la fauna y la flora oceánicas y las repercusiones que puede tener para el hombre un deterioro continuo, especialmente como peligros para la salud y pérdida de alimentos y posibilidades de esparcimiento.

Antes de examinar detalladamente los elementos que constituyen las posibles fuentes de contaminación relacionadas con las operaciones de exploración y producción de aceite, es necesario recalcar el hecho de que tales operaciones, tan importantes desde el punto de vista energético, causan poca contaminación.

Dichas operaciones contribuyen en un 1 a 1.5% de la contaminación en el mar, según estudios realizados por varias Or-

ganizaciones, incluyendo las Naciones Unidas y que las fuentes principales de contaminación son: la refinación y transporte de crudo, arrastre por ríos, etc., además de escape o infiltraciones naturales de hidrocarburos.

Los posibles riesgos de contaminación del ambiente por parte de este tipo de actividades, se centran principalmente en la disposición de residuos de hidrocarburos en el mar durante la perforación y producción de los pozos.

II.9 Disposición de Sólidos y Líquidos Durante la Exploración y - Producción en el Mar. (21)

Si se toman en cuenta los diferentes tipos de impacto al ambiente causado por la disposición de hidrocarburos, la contaminación se puede clasificar en dos grupos: la planeada y la accidental.

La primera se produce como consecuencia de una operación normal, en la cual las descargas deben de "adaptarse" a las condiciones del ambiente, y a los reglamentos en vigor que apliquen a esa área determinada y la segunda, la cual se origina de un evento excepcional e impredecible, para la que es necesario preparar planes de contingencia debidamente implementados para poder controlar sus efectos, según sea la magnitud del suceso.

Entre los desechos pertenecientes a descargas programadas, - podemos mencionar: recortes de perforación, lodos de perforación base agua y base aceite, fluidos de pruebas de pozos y pruebas de producción, lodos de cementación, residuos de estimulaciones ácidas, productos de separación provenientes de etapas de producción, efluentes sanitarios, aceites quemados, purgas de máquinas y muestreos, desperdicios de comida y -- otros desechos de zonas habitacionales.

Entre las posibles descargas accidentales tenemos: descontrol de un pozo, fugas en conexiones en líneas marinas y equipos, fugas en tubería de producción, fugas de combustible durante reabastecimiento o rompimiento de tanques de almacenamiento, escurrimiento de mangueras y equipos, etc.

A continuación se discuten algunas de las acciones a seguir para tratar eficientemente a estas descargas y evitar así daños considerables a las condiciones ambientales.

II.10 Descargas Programadas (7) (38)

1.- Recortes de Perforación

Estos son fragmentos de las rocas que van siendo penetradas durante la perforación de un pozo. Están constituidas de material inerte (arcilla, arena, calizas,

dolomitas y greda). Como dato aproximado se puede decir que un pozo de 2500 m. de profundidad produce unos 80 m³ de recortes.

Debido a su naturaleza inerte, este tipo de materiales pueden desecharse directamente al mar, excepto los impregnados con hidrocarburos, los cuales deben ser lavados con el equipo apropiado antes de descargarlos.

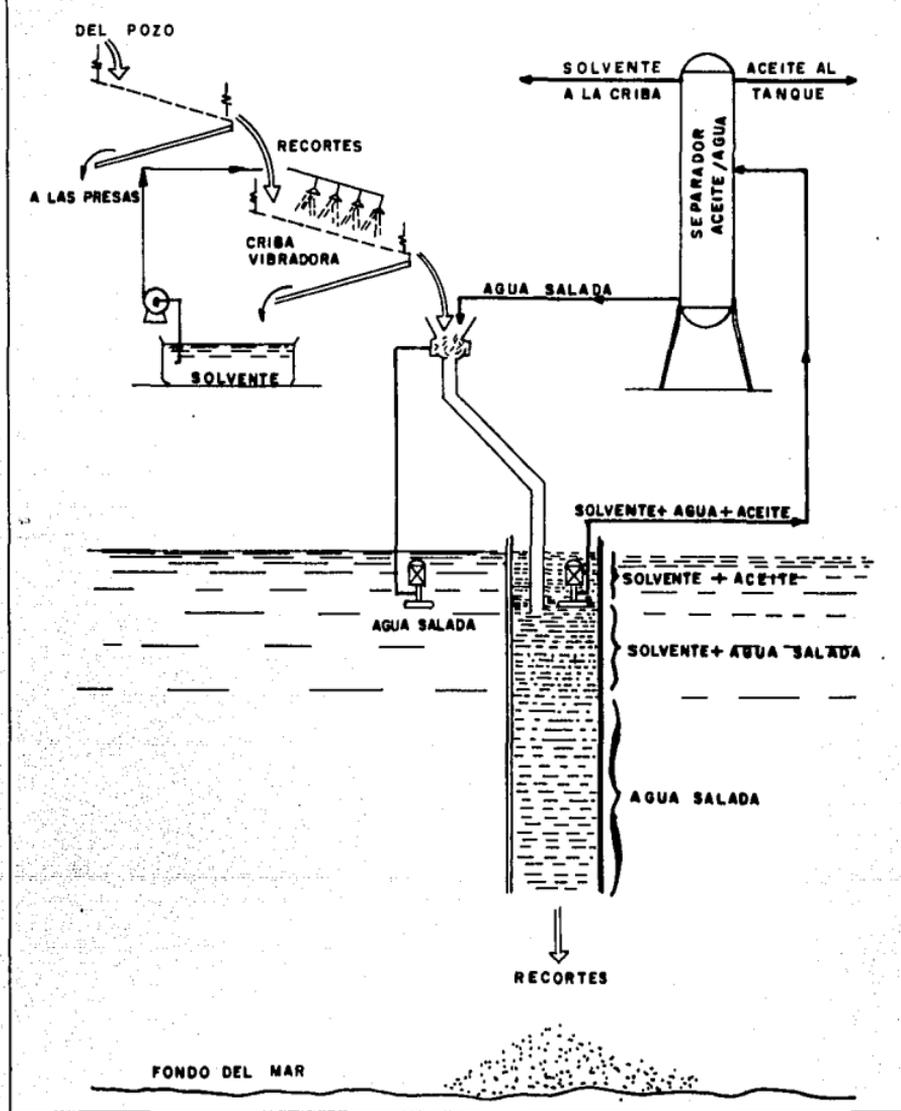
Uno de los equipos utilizados para el lavado de recortes consiste de un tubo vertical inmerso en agua (Fig. 1) a través del cual los recortes se descargan al mar después de lavarse con solvente y agua.

Estas unidades constan de cribas vibradoras y de boquillas - por donde el solvente es atomizado sobre los recortes de perforación.

El exceso de solvente se recircula a un depósito y se vuelve a utilizar.

Continuando con el proceso, los recortes son enjuagados con agua de mar y esta corriente de recortes, solventes y agua de mar se descarga en el tubo vertical.

FIG. I SISTEMA PARA LAVADO DE RECORTES DE PERFORACION (3)



El fluido sobrenadante en el tubo vertical, que consiste de aceite y solvente se bombea a un separador, donde el solvente se manda a las cribas vibratorias y el aceite al tanque de recuperados.

2.- Lodo de Perforación Base Agua

Este lodo es una suspensión de arcilla y barita en agua, ya sea fresca, salada o saturada con NaCl.

A este tipo de lodos se le agregan aditivos como:

<u>Producto</u>	<u>Función</u>
Lignosulfonatos	Adelgazadores
Carboximetil Celulosa (CMC) Almidón	Mantener viscosidad
Etanol amidas Aceites Vegetales	Antifriccionantes
NaOH	Corrección pH

Estos compuestos se adicionan en pequeñas cantidades, de tal forma que no constituyan un riesgo de contaminación.

Los lodos de perforación base agua se desechan usualmente al mar. Para un pozo de 2,500 m. de profundidad el volumen de lodos que se desecha es de 500m^3 , - de los cuales solo 100m^3 son partículas en suspensión.

3.- Lodo de Perforación Base Aceite

Se usa en formaciones muy especiales y su uso puede - causar riesgos de contaminación si no se tiene cuidado al desecharlo .

Si se tienen las precauciones debidas en su manejo, - los recortes y lodos base aceite pueden usarse sin -- peligro.

La técnica más común para tratar estos recortes es la varlos.

Los lodos base aceite se utilizan cuando la formación tiene características tales que se presenta inestabilidad del agujero, derrumbes, flujo por mantos salinos, corrosión y altas temperaturas.

Los recortes pueden ser lavados o bien incinerados pa ra descargarse al mar.

De otra forma, este lodo debe almacenarse, y trans-- portarse a tierra, en donde puede ser incinerado ó - tratado.

4.- Aceite

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

5.- Lodo de Cementación

Este lodo residual se produce cuando hay un exceso del mismo y hay un escurrimiento por la tubería de revestimiento que llega a la superficie, al efectuar operaciones de cementación.

Este lodo generalmente se desecha al mar debido a que por su naturaleza no presenta riesgos de contaminación.

6.- Desechos de una estimulación ácida

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

7.- Productos de separación

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

El proceso que se sigue para dar un tratamiento -- adecuado a este residuo es pasarlo a través de un - separador-desnatador tipo API y por una máquina de_ flotación. (Fig.2)

En el separador tipo API se logra una primera elimi nación de sustancias aceitosas y el total de sólidos en suspensión. El aceite se colecta en un tan-- que de recuperados y los sólidos se deshidratan por filtración.

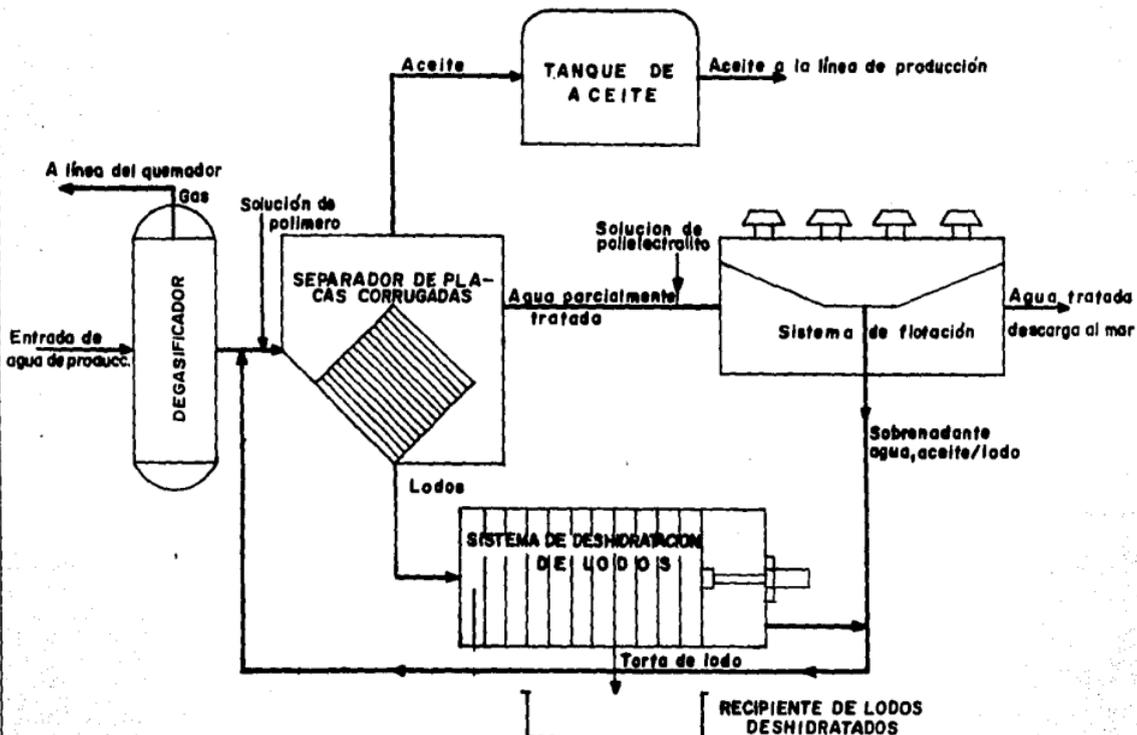
El agua de formación cuyo contenido de aceite se ve reducido a 25-50 ppm, se le añaden polielectrolitos y se pasa a una máquina de flotación que después de disminuir su contenido de aceite a menos de 15 ppm, la hace adecuada para descargarse en el mar.

El producto aceitoso de la flotación se recircula a la alimentación del tratamiento, a la entrada del - separador API.

Los productos que se obtienen de la totalidad del - proceso son:

- Aceite recuperado
- Recortes libres de aceite
- Agua de formación tratada

FIG.2 DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA DE PRODUCCION (3)



Si ésta última se produce en pequeñas cantidades para eliminarle el aceite se pueden utilizar filtros de carbón activado, los cuales aunque requieren bastante mantenimiento, representan menor costo de inversión que de máquinas de flotación.

8.- Drenaje y aceite de máquinas

Estos residuos se transportan a tierra en recipientes apropiados al igual que los desperdicios de comida y otros desechos sólidos.

Las aguas negras en muchas plataformas se descargan directamente al mar, pero es recomendable darles -- tratamiento previo para evitar problemas de contaminación.

II.11 Descargas Accidentales

1.- Descontrol de Pozos

Este es el evento más terrible que puede ocurrir en las acciones de perforación marina, no sólo por sus consecuencias para la seguridad humana, sino también por su impacto ambiental. Afortunadamente estos eventos no pasan muy a menudo. Un raro ejemplo es el caso del descontrol en el pozo Ixtoc I en el

Golfo de México el día 3 de junio de 1979, en el --
cual se derramaron gran cantidad de barriles de --
aceite.

Parece ser que este tipo de derrames ó accidentes -
se atribuyen a errores humanos, pero esto es diff--
cil de definir por los diversos problemas que se --
presentan durante la perforación de un pozo, pero -
una de las formas de prevenir estos decontroles es
contar con personal altamente capacitado en este ti
po de trabajo, facilidades para disponer del lodo -
adecuado y de rutinas de seguridad en caso de opera
ciones de emergencia.

Con respecto al ambiente, se debe contar con un - -
plan de contingencia apropiado, para actuar rápida-
mente en caso de un derrame por descontrol, el cual
debe considerar movilización de equipo y recursos -
humanos, cuantificación del derrame, confinación --
y recuperación del producto derramado, entre otras_
cosas.

2.- Otros derrames accidentales.

Estos son por lo general de menor consecuencia, de
bido al menor volúmen que se fuga.

Para el control de este tipo de derrames, los cuales tienen origen en rupturas de tanques, líneas, separadores o fugas en conexiones, se debe aplicar igualmente algún plan de contingencias, como se menciona en el punto anterior.

C A P I T U L O I I I

C O N C E P T O S S O B R E M U E S T R E O

III.1 TOMA DE MUESTRAS, SU ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE (2)

En cualquier sitio donde sea necesario realizar un reconocimiento, se debe hacer lo posible por coleccionar una cantidad adecuada de muestras, para que este examen sea representativo del universo muestral. Además, su número debe ser adecuado a la capacidad de análisis del laboratorio con que se cuente.

Cuando se toman muestras pequeñas y secuenciales de alguna zona, previamente debe hacerse una observación para detectar si existen varios tipos de aceite que están contaminando y evitar así - que se coleccionen un número excesivo de muestras de un mismo material.

Se debe recopilar información acerca de cada muestra, con el fin de llevar un registro adecuado de las mismas. Si las muestras se envían a un laboratorio, es recomendable proporcionar a éste una copia del registro.

La información que debe mencionarse es:

- 1) Propietario de la muestra.
- 2) Descripción de la muestra.
- 3) Localización y esquema del lugar donde fue tomada.
- 4) Clave o número de la muestra

- 5) Fecha y hora del muestreo.
- 6) Método del muestreo (si es que se utilizó algún equipo o técnica especial).
- 7) Fotografías tomadas.
- 8) Análisis por realizar a la muestra.
- 9) Nombre de la compañía o persona que tomó la muestra.
- 10) Propósito para que fue tomada la muestra.
- 11) Información adicional.

TOMA DE MUESTRAS

a) Tamaño de muestra.

Generalmente, cuando se produce un derrame de crudo en el mar, según sea su magnitud, se forma una capa de aceite en la superficie del agua, y si alcanza la costa, puede cubrir también rocas o arena, lo cual dificulta su recuperación.

Afortunadamente se requieren pocos mililitros de muestra, cuando se trata de conocer sus características, pero en caso de requerir un análisis más a fondo, es necesaria una muestra de aproximadamente un litro. Por otra parte, para analizar emulsiones de aceite-agua, se requiere un volumen de muestra de cinco litros.

b) Recipientes.

Cuando se necesita muestrear, ya sea en tierra o en el mar,

no es conveniente improvisar recipientes como latas, botellas, bolsas de plástico o cajas, puesto que aparte de no coleccionar la cantidad de material adecuado, pueden causar contaminación de la muestra de aceite por material orgánico o inorgánico.

En forma ideal, se deben usar frascos de vidrio limpios y de boca ancha, manteniéndolos bien tapados una vez coleccionada la muestra.

Los frascos deben empacarse en cajas de madera con separaciones y protegerse con espuma de poliuretano para transportar los sin riesgo de romperlos. Los frascos deben marcarse y llevar un control de ellos en un libro de registro, cuando se requiera un muestreo en serie.

c) Muestreo de la superficie del agua.

Cuando se descarga crudo en el mar, como consecuencia de un derrame accidental o de una descarga deliberada, se produce una capa delgadísima de aceite (no mayor a una fracción de milímetro), con lo que es difícil obtener una muestra representativa.

Si hay condiciones de calma, se puede emplear alguna técnica de confinación para lograr engrosar la capa de aceite y mediante desnatación, obtener la muestra.

Un dispositivo útil es el uso de una cubeta con abertura o drenaje fino que permita eliminar el grueso de agua de mar atrapada antes de vaciar el aceite al recipiente de muestra.

En caso de que el aceite se presente en pequeños glóbulos-

aislados se utiliza un marco con espuma de poliuretano, en el cual se absorben dichos glóbulos de aceite permitiendo que el agua se drene. El aceite se recupera de esta espuma simplemente exprimiéndola si hay suficiente aceite o bien haciendo la extracción con un solvente (como cloroformo).

Cuando se trata de aceites muy viscosos se utiliza una lámina de polietileno, en el cual se absorbe este material y el aceite se obtiene raspando la superficie con una espátula de madera. Estas últimas técnicas no pueden emplearse para obtener grandes volúmenes de muestras. Otros equipos de muestreo están siendo actualmente desarrollados, pero tienen una disponibilidad muy limitada y la mayoría de las veces, los requerimientos de potencia restringen grandemente el uso de estos dispositivos.

- **Marcado de las muestras.**

Todas las muestras colectadas deberán ser fácilmente identificadas con una marca difícil de separar de la misma, con la información mencionada en páginas anteriores.

- **Transporte y Almacenamiento de la Muestra.**

Antes de enviarlas es necesario revisar que tengan espacio suficiente para permitir cualquier aumento de volumen que la muestra pudiera tener y evitar alguna fuga o ruptura de recipientes, para lo cual deben los recipientes estar protegidos con espuma de poliuretano.

Si es posible, se debe desplazar el aire del recipiente portamuestras con un gas inerte.

El almacenamiento debe realizarse de preferencia en el laboratorio dentro de cuartos fríos o refrigeradores (a no más de 5°C) y en la obscuridad.

III.2 RECOMENDACIONES PARA EL MUESTREO

1.- Puntos de Muestreo

La selección y localización de puntos de muestreo en líneas, equipos y drenajes está determinada por el tipo y cantidad de flujo de desecho. Por ejemplo si se desea muestrear una línea de proceso, el punto de muestreo debe localizarse a una distancia entre 10 y 20 veces el diámetro de la línea corriente abajo de donde se presente alguna perturbación al flujo, como puede ser un medidor, una válvula, una mánpara ó una te de mezclado.

Se deben seleccionar tantos puntos de muestreo como se considere necesarios para lograr una muestra ó conjunto de muestras que sean representativas de las corrientes de desecho que se desean analizar.

2.- Frecuencia de Muestreo

Para obtener información de cargas contaminantes diarias, se recomienda obtener muestras compuestas de 24 horas.

Lo anterior tiene por objeto obtener una muestra lo más homogénea posible de las descargas producidas durante un día de operación de la planta.

Cuando se desea registrar los picos ó concentraciones máximas de contaminantes descargados, es conveniente tomar varias muestras individuales a lo largo del día.

El número de muestras estará definido por la capacidad - de análisis del laboratorio en que estos se lleven a cabo.

Otro caso en el cual se recomienda tomar muestras individuales, es cuando la substancia o desecho descargado que se desea analizar es inestable o de fácil descomposición y no es posible tomar muestras compuestas.

3.- Recolección de Muestras de Desechos Aceitosos.

La capacidad del frasco de muestra deberá ser tal que al macene, sin peligro de derramarse, el volumen de muestra requerido, el cual estará en función del contenido de - aceite que se sospeche contiene el agua residual. Esto es, si se requiere tomar una muestra de un litro, tratar de conseguir un bote que tenga capacidad para litro y me dio cuando menos.

III.3 PREPARACION DE LAS MUESTRAS PARA ANALISIS

Homogeneidad de la Muestra

El material por analizar debe ser lo más homogéneo posible, empleando algunas veces procesos de mezclado para poder lograrlo.

Una serie de recomendaciones a seguir son:

- Liberar el material de pequeñas piedras que se le hayan adherido.
- Eliminar materiales extraños a la muestra como madera, plumas, vidrio, fibras y otros materiales.
- Evitar todo contenido de agua de la muestra, sobre todo aquella que pueda causar problemas de formación de emulsiones.
- Incorporar la parte externa de la muestra (película o costra exterior) al resto del material a analizar.
- No se deben tratar de fundir las muestras, puesto que presentarán ciertas preferencias sobre algún tipo de cristalización fraccionada.
- Si se emplea algún disolvente para extracción, se debe eliminar la totalidad de éste, para evitar algún tipo de cristalización preferencial.

Recuperación de Aceite de Muestras Contaminantes.

Para poder lograr la caracterización de una muestra, es necesario eliminarle el agua y basuras que puedan interferir con la realización de su análisis.

Para llevar a cabo la recuperación de aceite de una muestra, se efectúa un examen preliminar de la misma. Generalmente, a menor rango de ebullición del aceite, es más sencilla su separación, pudiendo distinguir fácilmente entre el destilado y el residuo.

Las técnicas de separación más utilizadas son la filtración, la centrifugación y la extracción.

Filtración.

Este es el proceso más simple que se utiliza para separar aceites destilados de impurezas, inmediatamente después de haber recibido un tratamiento de separación primaria. Existen dificultades cuando se intenta la filtración directa de alguna muestra según sea la naturaleza y contenido de sus contaminantes, ya que éstos pueden taponar los poros del filtro. (44), (45), (46) y (47). (Ver Capítulo V).

Muchas veces es conveniente diluir la muestra con algún solvente orgánico y aún así, muchas veces el problema no está solucionado, por ejemplo cuando la muestra contiene cera. -

Centrifugación

Esta es una técnica más compleja que se utiliza para el tratamiento de muestras que contienen sólidos o que presentan problemas de formación de emulsiones agua-aceite, aunque a veces la presencia de sólidos hace difícil la separación del agua y el aceite.

Esta técnica no es aplicable a aceites viscosos ni residuos parafínicos. (44), (45), (46) y (47).

Extracción

Este procedimiento es una adaptación de la muestra previa al proceso de filtrado cuando se presentan sólidos finamente divididos o material ceroso. El método de extracción usado para purificar la muestra es el Soxhlet, en el cual se utiliza cloroformo como solvente. (27). (Ver Capítulo V).

Esquema Recomendado de Análisis

Cuando se quiere saber de donde proviene un determinado con

taminante, es deseable apegarse, durante el exámen de muestras contaminadas, a una secuencia bien definida de limpieza, preparación y análisis de las mismas.

La primera etapa de análisis es una cromatografía de gas, - la cual indica si ha habido evaporación por intemperización de la muestra, comparando los resultados con los cromatogramas de capa fina de muestras tomadas de posibles materiales fuente.

Después, una vez eliminadas el agua y basuras, se procede a realizar una destilación para obtener un residuo de la ebullición a más de 343 °C. A este residuo se le hacen análisis como contenido de Niquel, Vanadio, Azufre, Asfaltenos y densidad relativa, los cuales darán la información requerida para caracterizar el tipo de contaminantes contenidos en el material residual.

Otro material que se utiliza para la caracterización de muestras contaminadas es la cromatografía de gas de alta resolución, particularmente si la muestra ha sufrido gran intemperización.

La descripción detallada de este tipo de técnicas de análisis no es el objetivo de este trabajo, pero si se debe resaltar la importancia de un muestreo representativo y sufi-

ciente y además tener en cuenta la necesidad de realizar un análisis de las muestras obtenidas con un enfoque serio, -- profesional y responsable, utilizando las técnicas más modernas y adecuadas, ya que estos mecanismos son la única y más valiosa fuente de información para el diseño y selección del sistema u opciones de sistemas de tratamiento, así como para lograr el control de su correcta operación.

C A P I T U L O I V

GENERALIDADES ACERCA DE LOS TRATAMIENTOS DE EFLUENTES

IV GENERALIDADES ACERCA DE LOS TRATAMIENTOS DE EFLUENTES.

En las Refinerías, Plantas Petroquímicas y Baterías de Deshidratación y/o Separación de Aceite existen diversos efluentes, cuya calidad varía de acuerdo a la antigüedad de la planta, tipo de crudo manejado, tipo de proceso y prácticas adoptadas para eliminarlos.

El equipo utilizado en el tratamiento de estos efluentes producidos es muy diverso y puede variar en función de la complejidad de la planta, el clima, limitaciones de espacio, topografía del terreno y otros factores locales, por ejemplo de costo.

La selección adecuada del equipo se basa en considerar los conceptos fundamentales para tratamiento de los efluentes, como pueden ser:

- Separación de Aceite.
- Tratamiento Biológico.
- Eliminación de Sólidos Suspendedos.

Además, se debe tomar en cuenta la necesidad de realizar pruebas de campo y laboratorio, y analizar la economía y requerimientos de operación del proceso.

Cuando se diseña el sistema de tratamiento de efluentes para una Planta determinada en la industria petrolera, se debe adoptar la filosofía básica de tomar un esquema de tratamiento típico que haya sido exitoso en algún tipo de instalación similar a la que se quiere diseñar, y posteriormente deben de hacerse las modificaciones pertinentes que más se adapten a la situación particular que vivimos.

Para lograr obtener el mejor sistema, debemos tener presentes los siguientes puntos:

- Costos de inversión y de operación.
- Flexibilidad y fácil operación.
- Integración y uso de sistemas y servicios existentes.
- Comportamiento y confiabilidad del proceso.

Por último, una consideración general a seguir cuando se va a diseñar un sistema de tratamiento de efluentes, es el tratar de tener un control del efluente dentro de la Planta - que lo produce, ya sea en una Refinería, un Complejo Petroquímico o una Bateria de Separación, dado que así se tendrán ahorros considerables al momento de darle a esa corriente - poco contaminada, el tratamiento final.

IV.1 - Pasos Básicos en el Tratamiento de Efluentes de Refinerías.

Para la selección del sistema de tratamiento más adecuado para el efluente de una refinería, se siguen etapas básicas

que involucran los conceptos para lo que sirve cada tratamiento y su aplicación a un efluente determinado, según sus características. (Figura 3).

Estas etapas básicas son:

- 1.- Separación de Aceite.
- 2.- Tratamiento Biológico.
- 3.- Eliminación de Sólidos.

- Otras etapas auxiliares como fosas de retención, manejo de aguas amargas y cáusticas, y neutralización, pueden requerirse también.

IV.1.1 SEPARACION DE ACEITE.

Se tienen dos tipos de separadores:

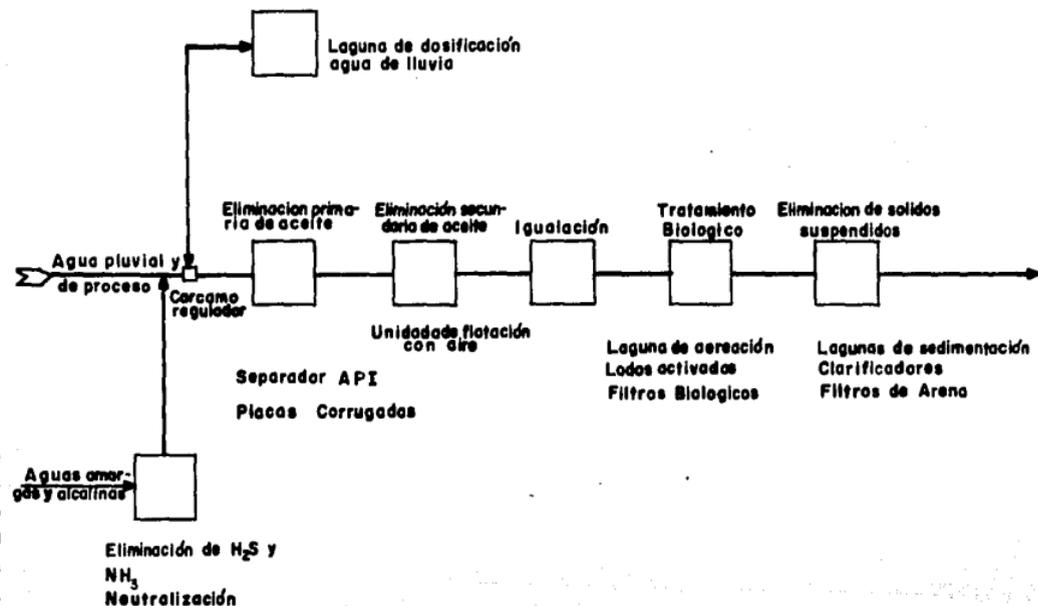
Primarios y Secundarios.

Los separadores primarios son utilizados para eliminación de aceite no emulsionado y sedimentable, y los separadores secundarios eliminan aceite emulsionado.

SEPARADORES PRIMARIOS.

La mayoría de los separadores de este tipo, los cuales aprovechan como principio elemental de separación la fuerza de gravedad, son del tipo API, aunque en los últimos diez años

FIG.3 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE DESECHO DE UNA REFINERIA (1)



se han instalado también otros tipos, como de placas paralelas, placas corrugadas, etc.

Estos tipos de separadores producen, más o menos, las mismas características de agua tratada, si es que son bien operados, pero están sujetos a una misma limitación, no pueden eliminar aceite emulsionado.

El separador de placas paralelas es más pequeño, fácil de techar y más barato que un separador tipo API, pero su tamaño pequeño lo hace incapaz de poder manejar lodos que se forman, con lo que no proporciona el tiempo de residencia suficiente como para romper emulsiones inestables.

Otra desventaja es que presenta desgastes severos en las placas.

Es de preferencia general utilizar separadores del tipo API debido a su simplicidad de internos, los cuales ni se desgastan ni se taponan cuando se manejan sólidos. Cuando se tiene que usar un separador del tipo placas paralelas, debido a falta de espacio, se deben usar paquetes de placas que posean una configuración abierta y no taponable; además, se debe tener la precaución de instalar una laguna aguas arriba del separador, la cual tenga la función de coleccionar los sólidos que la corriente a tratar pudiera arrastrar.

SEPARADORES SECUNDARIOS.

Existen tres tipos comunes de procesos usados para separación secundaria de aceite:

- 1) Flotación
- 2) Filtración y
- 3) Coagulación-Sedimentación.

Con respecto a la flotación, se puede decir que es menos costosa que los demás métodos, y produce nuevos lodos aceitosos que desechar.

Dentro de la flotación tenemos dos tipos básicos:

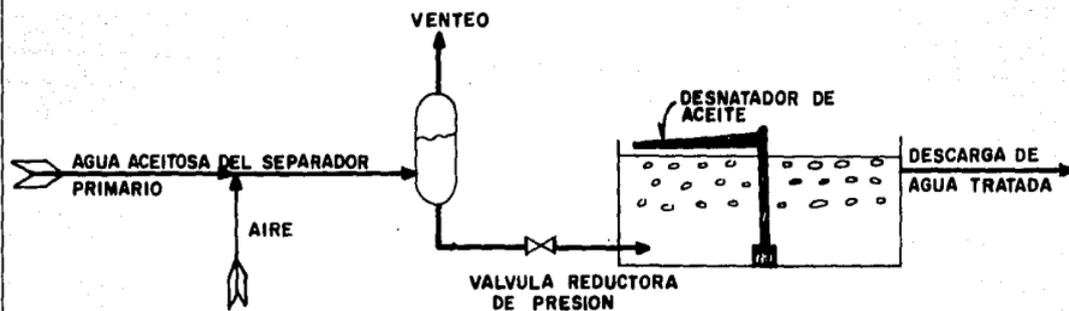
- a) FLOTACION POR AIRE DISUELTO (DAF).

Este es un proceso convencional, en el cual se generan burbujas de aire para flotación disolviendo primeramente aire a presión en el desecho, y posteriormente dejando descender la presión de tal forma que el aire abandone la solución en forma de diminutas burbujas.

Estas burbujas hacen flotar aceite y/o sólidos a la superficie del agua de desecho en el tanque de flotación, en donde son desnatados.

En la figura 4 se muestra una máquina de flotación por aire disuelto.

FIG.4 UNIDAD DE FLOTACION POR AIRE DISUELTO (1)



Usualmente se emplean productos químicos flocculantes para -- coagular el aceite emulsionado, aumentando así la eficiencia de la flotación.

Estos flocculantes pueden ser polielectrolitos orgánicos, pero también debe usarse sulfato de aluminio o algún producto_ similar para lograr mayores eficiencias.

B) FLOTACION POR AIRE INDUCIDO. (IAF)

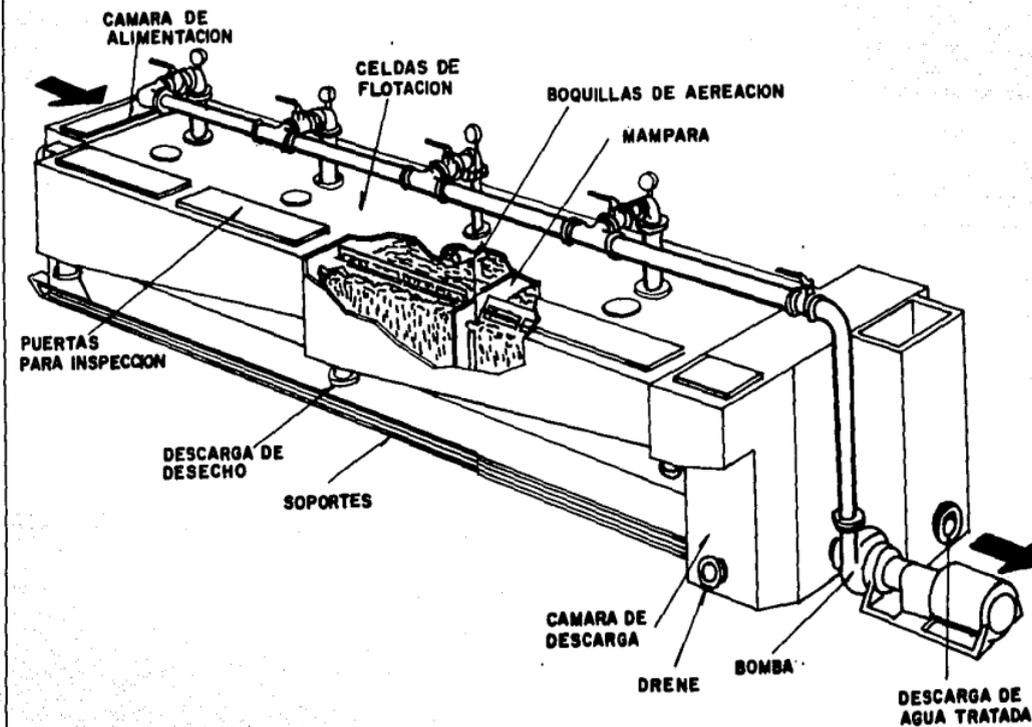
Este proceso de utilizó originalmente para flotación de mine_ rales. En las máquinas de flotación, un flujo de aire genera burbujas dispersas que hacen flotar el aceite y/o sólidos hacia la superficie, donde éstos son eliminados.

En las figuras 5 y 6 se muestran dos tipos de máquinas de flotación por aire inducido.

Por lo general, estas máquinas usan rotores para inducir el_ flujo de aire en forma de burbujas dispersas dentro del dese- cho, pero existen algunas unidades que usan una bomba de re-- circulación con boquillas especiales. Este cambio hace que - tengan menor consumo de potencia que las máquinas con rotor.

El proceso también usa coagulantes orgánicos.

**FIG. 5 UNIDAD DE FLOTACION
POR AIRE INDUCIDO (1)**



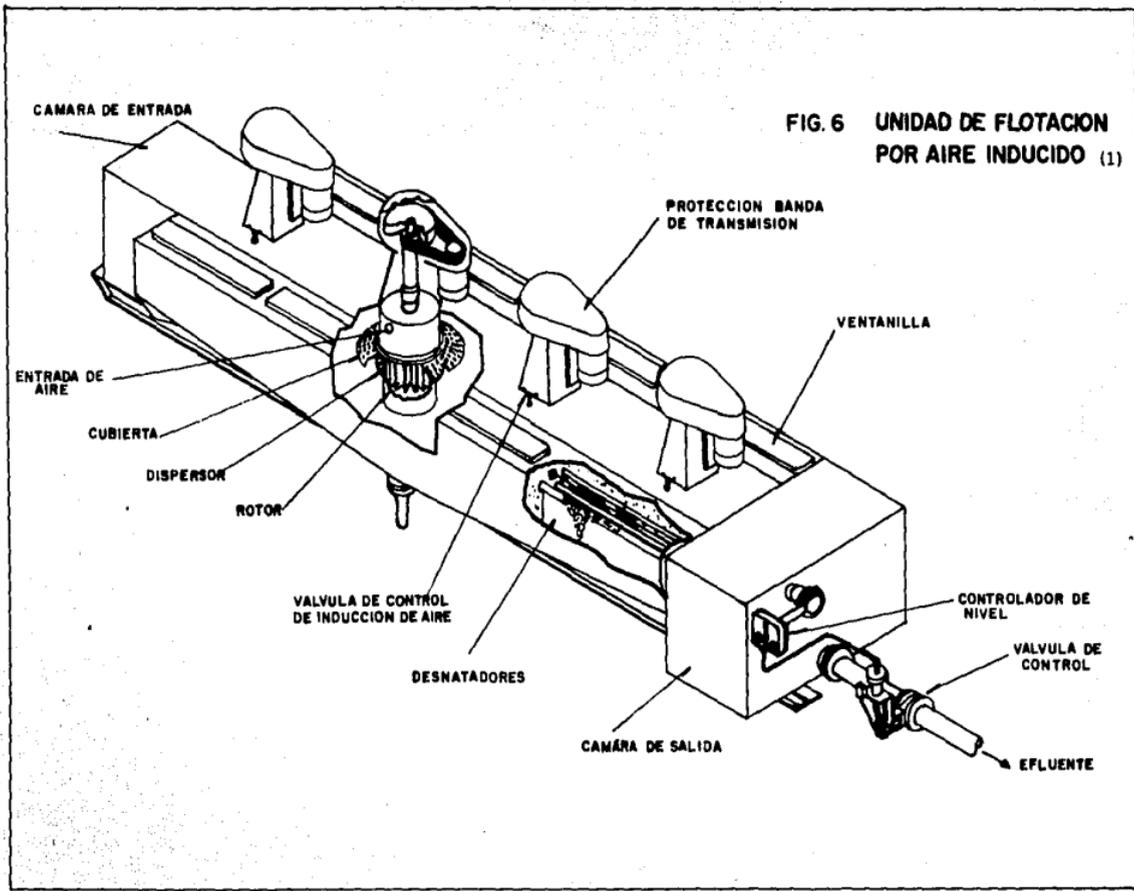


FIG. 6 UNIDAD DE FLOTACION POR AIRE INDUCIDO (1)

CAMARA DE ENTRADA

PROTECCION BANDA DE TRANSMISION

VENTANILLA

ENTRADA DE AIRE

CUBIERTA

DISPERSOR

ROTOR

VALVULA DE CONTROL DE INDUCCION DE AIRE

DESNATADORES

CONTROLADOR DE NIVEL

VALVULA DE CONTROL

CAMARA DE SALIDA

EFLUENTE

Ventajas del proceso de flotación por aire inducido con respecto al aire disuelto.

- No es necesario utilizar ayuda coagulante inorgánico.
- La unidad es cerrada y está diseñada para minimizar olores y emisiones atmosféricas.
- Requiere menor espacio de instalación e inversión.
- La eficiencia es mayor ó igual, sin necesidad de usar el coagulante inorgánico.
- El aceite recuperado al no estar contaminado con sustancias extrañas puede reusarse ó recircularse.

El tiempo de residencia a usarse en una unidad de flotación es de 4 minutos, usando capacidades comerciales de máquinas de flotación.

Se realizan por lo general pruebas piloto para experimentar polielectrolitos coagulantes y así poder seleccionar aquél que de mayor eficiencia en el proceso.

IV.1.2 TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Hay varios tipos de procesos de tratamiento biológico, entre los más importantes tenemos:

Lagunas de Aereación.

CBR (Contactores biológicos rotarios)

Lodos activados

LAGUNAS DE AERACION

Es el sistema más simple en términos de construcción y operación. La igualación de la alimentación en una fosa no es necesaria, dado que estas lagunas proporcionan grandes volúmenes de perfecto mezclado que diluyen los baches de contaminantes que pudieran venir en el influente.

Estas lagunas pueden manejar mayores concentraciones de aceite que otros procesos biológicos.

Una desventaja de este proceso es que en climas fríos es inadecuado, ya que la pérdida de calor en la laguna reduce la temperatura del agua hasta un punto en que la actividad biológica es insuficiente.

Otra desventaja es que estas lagunas requieren mayor área disponible.

Para el diseño de las lagunas se utilizan métodos simplificados y modificados. Para estimar el tiempo de retención requerido se usa la ecuación:

$$\frac{\text{DBO}_5 \text{ Efluente}}{\text{DBO}_5 \text{ Influyente}} = \frac{1}{1 + kt} \quad (\text{IV.1})$$

en donde: k = constante de velocidad biológica (1/día).

t = tiempo de retención (días).

DBO_5 = Demanda Bioquímica de Oxígeno (Ver Cap. V).

En la práctica se han obtenido valores de k entre 0.1 y 1.1 dependiendo de la temperatura y el grado de aereación

y mezclado.

Para estimar la aereación requerida se determina la transferencia de oxígeno necesaria, mediante un balance de DQO.

$$O_2 \text{ requerido lb/día} = m \text{ DQO influente} - \text{DQO efluente}$$

donde m = flujo másico de desecho (lb/día).

DQO = Demanda Química de Oxígeno. (Ver Cap. V).

El grado de aereación requerido puede estar fijado por la transferencia de oxígeno requerido ϕ por el nivel de mezclado deseado. Este nivel de mezclado fluctúa casi siempre entre 10 a 20 hp/MM Gal. de volúmen de la laguna.

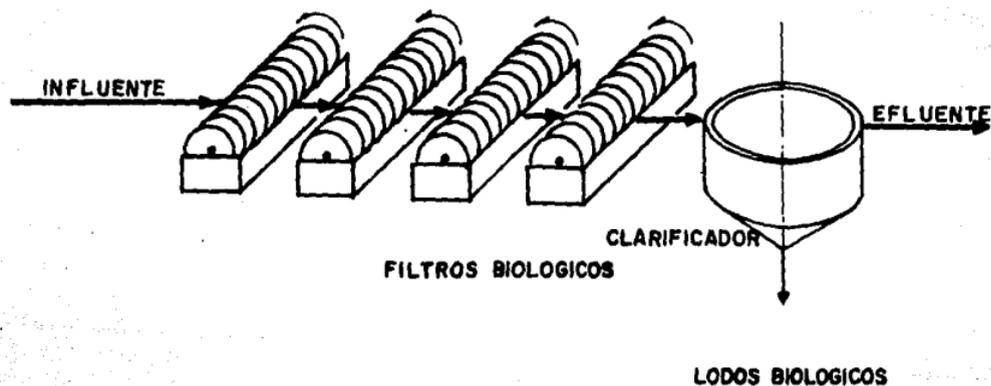
CONTACTORES BIOLÓGICOS ROTATORIOS (CBR)

Este proceso consiste básicamente en una serie de discos montados en una flecha horizontal rotatoria, parcialmente sumergida en el agua residual. En estos discos se presenta un crecimiento bacteriano (especie de lama), el cual - se encarga de absorber los contaminantes del desecho y - oxidarlos utilizando el oxígeno presente en la atmósfera- (Figura 7)

El exceso de crecimiento bacteriano se va desprendiendo - de estos discos y fluye junto con el efluente tratado.

Se han hecho mejoras recientes a estos sistemas constru--yendo los discos de un material corrugado, el cual presenta mayor área de contacto para el tratamiento y de una mejor resistencia mecánica.

**FIG.7 ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DE UNA REFINERIA USANDO FILTROS
BIOLÓGICOS (1) (15)**



Las ventajas de este sistema de tratamiento son:

- Operación simple.
- Bajos requerimientos de área y potencia.
- Se puede integrar una operación en etapas para obtener mejor rendimiento.
- Adecuado para usarse en climas fríos, ya que se presentan pocas pérdidas de calor.
- Permite construcción modular, es decir: se pueden agregar unidades si se requieren manejar flujos cada vez mayores.

DESVENTAJAS

- Requiere más área superficial del disco, mientras mayor es la carga de DBO.
- Requiere de un equipo extra como un clarificador, que elimine los sólidos formados, mediante sedimentación.

La aplicación de este tipo de sistemas se ve limitada a plantas medianas y pequeñas con cargas moderadas de desecho.

Es recomendable hacer pruebas piloto antes de dimensionar la unidad, pero cuando el agua residual no está disponible, esto es, en el caso de nuevas plantas se utilizan frecuentemente datos de pruebas piloto realizadas en refineras cuyos efluentes sean similares.

El modelo de McAliley es el más utilizado para estimar el área requerida por un CBR. En este método se supone que

la velocidad de eliminación de DBO en una etapa del CBR - es proporcional a la DBO presente en esta etapa y que el desecho se encuentra uniformemente, mezclado. La ecuación es:

$$V = \frac{M}{A} \quad (\text{DBO influente} - \text{DBO efluente}) \quad (\text{IV.2})$$

$$V = P \quad \left(\frac{\text{DBO efluente}}{K + \text{DBO efluente}} \right) \quad (\text{IV.3})$$

V = Velocidad de eliminación específica del DBO por unidad de área del medio de tratamiento. lb/día-ft²

M = Flujo másico de desecho, lb/día.

A = Área de una etapa del CBR, ft².

P = Constante = Valor máximo de V a DBO = ∞

K = Constante = DBO a la cual $V = \frac{P}{2}$

DBO = Demanda Bioquímica de Oxígeno. (Ver Cap. V).

Se construyen gráficas de V vs. DBO en cada etapa del CBR, ó bien gráficas de 1/R vs. 1/DBO con lo que se obtiene un recta en la cual la intersección con el eje de las "y" es 1/P y la intersección con el eje de las "x" es 1/K.

Dos parámetros de diseño que se seleccionan para minimizar la posibilidad de crecimientos anaeróbicos en las etapas de los CBR y evitar el sobre crecimiento biológico en los discos, que ocasione una sobrecarga mecánica para el CBR son los siguientes:

- 1) Carga de DBO aplicada a la primera etapa del CBR comprendida entre 0.012 y 0.015 lb/día.-ft².
- 2) La velocidad de eliminación total de DBO debe fijarse entre 0.002 y 0.003 lb/día.-ft².

Con respecto al diseño de clarificadores, los gastos máximos a manejar son de 700 Gal./día/día ft²., con lo que se da una sedimentación adecuada y se obtiene un efluente - con bajo contenido de sólidos suspendidos.

Otra práctica recomendable a seguir cuando se instala un sistema de CBR es incluir una fosa de igualación previa - al mismo para que se puedan atenuar las fluctuaciones de carga orgánica a tratar, con lo que se asegura un comportamiento óptimo del CBR y se obtiene una buena eficiencia de eliminación de contaminantes.

LODOS ACTIVADOS

Este es uno de los procesos más antiguos que se han establecido para el tratamiento de aguas residuales. ^{(47) (49)} Sus ventajas son:

- Menor costo que los CBR para instalaciones grandes.
- Poco requerimiento de área.
- Operación satisfactoria en climas fríos.

DESVENTAJAS

- Altos requerimientos de potencia.
- Mayor costo para instalaciones pequeñas y medianas.

- Proceso que requiere mayor control durante la operación.
- Recuperación lenta al alimentarle carga orgánica en des controles, requiere laguna de igualación en la alim ta ción.

Para el diseño de unidades de lodos activados se utiliza - la siguiente relación.

$$\frac{\text{DBO efluente}}{\text{DBO influente}} = \frac{1}{1 + K_s X t} \quad (\text{IV.4})$$

donde:

- K_s = Constante de velocidad de reacción $\text{hr}^{-1} \text{ ppm}^{-1}$
- X = Sólidos suspendidos volátiles en el licor mez-- clado. ppm.
- t = Tiempo de residencia en la laguna de aereación. hr.

Algunos valores típicos utilizados en refinerías son:

- $K_s = 0.0003 \text{ hr}^{-1} \text{ ppm}^{-1}$
- $X = 2000 - 6000 \text{ ppm.}$

pero estos valores dependen básicamente de las caracterís- ticas y de la biodegradabilidad del agua de desecho a tra tar.

Los requerimientos de aereación se calculan como en el - sistema de CBR y los requerimientos de potencia para mez- clado se calculan usando una base de 80 Hp/millón de Gal.

El clarificador forma parte esencial de la unidad de lodos

activados, este se diseña para un flujo de 400 Gal/día-ft² y/o para manejo de sólidos de 20 lb/día-ft² cualquiera que se alcance primero.

IV.1.3 ELIMINACION FINAL DE SOLIDOS SUSPENDIDOS

Los sólidos generados en las etapas de tratamiento biológico deben eliminarse del efluente con el fin de cumplir con los límites establecidos de turbidez, sólidos suspendidos y DBO.

En la práctica se utilizan varios procesos para lograr esta eliminación, entre los principales tenemos:

Clarificadores:- los cuales ya se discutieron en la sección de CBR y lodos activados.

Lagunas de sedimentación.- Es el método más simple y barato.

El dimensionamiento se hace tratando de evitar sobrecarga de sólidos y posibles condiciones anaeróbicas. Estas lagunas deben limpiarse periódicamente, dependiendo de la carga de sólidos y del tamaño de la laguna. Se pueden presentar problemas de crecimiento de algas en estas lagunas, lo cual puede contribuir a elevar la concentración de sólidos suspendidos totales en el efluente.

Filtración.- Uso de filtros de lecho mezclado, cuya mayor desventaja es el alto costo y la necesidad de vigilar la -

operación si se requiere dosificar productos químicos floculantes que permitan la eliminación de algas.

Flotación.- Es frecuente utilizar máquinas de flotación por aire inducido para mejorar la calidad de los efluentes de clarificadores y lagunas de sedimentación. Estas máquinas de flotación cuestan menos que los filtros y tienen buen comportamiento.

Es bueno aclarar que la eliminación adecuada de los sólidos depende de la naturaleza de los mismos, así como de la dosis utilizada de polielectrolito ó reactivo floculante usado, ya que se han presentado comportamientos muy diferentes con referencia a este problema de una refinería a otra.

C A P I T U L O V

**ESTADO DE LA INVESTIGACION EN PROCESOS DE TRATAMIENTO
PARA LA SEPARACION DE ACEITE**

V ESTADO DE LA INVESTIGACION EN PROCESOS DE TRATAMIENTO
PARA LA SEPARACION DE ACEITE

La clasificación usual que muchos autores dan a los tratamientos de aguas residuales es la siguiente: (4)

- 1) Pretratamiento en planta.- Es decir, aquellas instalaciones que preceden al separador de aceite tipo API convencional. Por ejemplo, agotadores para aguas amargas y sojas gastadas, neutralizadores y coagulación química.
- 2) Separadores gravitacionales tipo API o instalaciones similares.- Como pueden ser separadores de placas corrugadas, fosas de igualación y máquinas de flotación con -- aire.
- 3) Tratamiento secundario.- Que comprende las demás instalaciones para tratar la corriente de aguas residuales una vez que ésta ha pasado por el separador tipo API. Por -- ejemplo, lagunas de oxidación, lodos activados y procesos de filtros biológicos rotatorios.

Dentro de estos tratamientos se observan dos grandes grupos, es - decir, aquéllos procesos cuyo objetivo va encaminado a eliminar - sólidos suspendidos y aceite y los que proveen de un tratamiento de oxidación biológica.

El objetivo principal de este trabajo es el de presentar los procedimientos de diseño de algunos de los tratamientos utilizados -

para eliminar aceite y sólidos suspendidos de las aguas residuales, las cuales son producidas en la Industria Petrolera y, una vez que se conozca el diseño de las unidades, se procederá a evaluar la eficiencia de los procesos, sugiriendo en los casos en que sea posible, las modificaciones necesarias a los parámetros, de tal manera que se obtenga una operación satisfactoria de las instalaciones destinadas a dar tratamiento a las aguas residuales de la Industria Petrolera.

El capítulo anterior tuvo la finalidad de definir, entender y -- minimizar en lo posible el problema de la contaminación provocada por los desechos aceitosos. El presente capítulo, en cambio, -- tiene como objetivo explicar algunos de los principales tipos de tratamiento de los que se dispone y que pueden ser aplicados, según sean las necesidades y tipo de desecho, de tal forma que el -- efluente o desecho tratado garantice el cumplimiento de las características de calidad que son fijadas por las autoridades competentes, en base a la legislación en vigor, dependiendo del uso -- que se dé al agua del cuerpo receptor, en el lugar donde se efectúa la descarga.

El problema de la separación de aceite-agua, puede dividirse en cinco categorías elementales, las cuales describen las formas en las que el aceite puede existir en el agua:

1.- Aceite libre.- El cual flota y alcanza fácilmente la su-

perficie del agua cuando se le proporciona al desecho - un corto periodo de asentamiento.

- 2.- **Dispersiones Mecánicas.**- Son distribuciones de finísimas gotas de aceite, cuyo tamaño fluctúa entre micrones a fracciones de milímetro, y tienen estabilidad debido a cargas eléctricas y otras fuerzas, pero no a causa de la presencia de materiales tensoactivos.
- 3.- **Emulsiones Estabilizadas Químicamente.**- Son distribuciones de gotas de aceite similares a las dispersiones mecánicas, pero que tienen estabilidad adicional como resultado de interacciones químicas causadas típicamente por agentes tensoactivos presentes en la interfase agua-aceite.
- 4.- **Aceite Disuelto.**- El cual está verdaderamente disuelto en el sentido químico, puesto que el aceite está disperso en gotas tan finas (menos de 5 micrones), que su eliminación por medios físicos (como filtración, coalescencia o asentamiento por gravedad), es imposible.
- 5.- **Sólidos Húmedos y Aceitosos.**- Es el aceite que se adhiere a la superficie de las partículas; tales sólidos tienen una gran variedad de orígenes, densidades, composiciones y tamaños.

El grado de dificultad de un problema de separación agua-aceite, es una función de la distribución del tamaño de partícula, es -

decir, distinguir entre aceite libre y dispersiones, y de la -- presencia de agentes tensoactivos, aceites disueltos y sólidos_ aceitosos. La mayoría de los problemas de separación involucran también productos químicos diferentes al aceite, lo que tiene - como consecuencia una gran variedad de efectos sobre el trata- miento requerido.

Los métodos de separación por gravedad, los cuales pueden - incluir calentamiento, superficies incrementadas por medio de - placas, o flotación con aire, son usados para desplazar aceite_ libre hacia la superficie de un cuerpo de agua y eliminación -- subsecuente del mismo por desnatado. Los diseños comunes de se paradores que usaron como principio la fuerza de gravedad, in- cluyen los separadores llamados API, los Interceptores de Pla- cas Corrugadas, y los Interceptores de Placas Paralelas; son - los tratamientos más a menudo empleados. Sin embargo se aplican principalmente para el tratamiento de aceites libres. Teniendo cuidado con el manejo del flujo en este tipo de separadores, es posible separar gotas de aceite mucho muy finas.

Las Máquinas de Flotación con aire y los sistemas coalesce- dores se basan en una gran variedad de mecanismos físicos y de superficie, que provocan que las pequeñas gotas de aceite se - aglomeren entre sí formando gotas más grandes, las cuales se - comportan como aceite libre y se favorezca su separación. El medio coalescente es normalmente fibroso, tiene una configura- ción como de filtro cartucho, el cual dificulta el paso de las finas gotas de aceite, para permitir coalescencia. Esta acción

filtrante retiene también partículas, lo cual es causa frecuente de fallas en estos equipos, aun cuando estén provistos de pre filtros. Otra interferencia común de los coalescedores son los agentes tensoactivos, los cuales pueden dañar, envenenar o atrofiar las propiedades coalescentes del medio (fibras o gránulos). Debido a las limitaciones físicas del diseño de los coalescedores, estos equipos sólo sirven para tratar aceite libre y dispersiones mecánicas.

Los problemas de separación de aceite en plataformas están caracterizados por la presencia de aceite libre y disperso, complicado además por sólidos aceitosos y emulsiones estables químicamente tratables. Para el tratamiento de estos desechos se han empleado coalescedores, pero las emulsiones no pueden ser fácilmente eliminadas. Para esto se ha pensado la Adsorción con carbón activado, pero este método requiere equipo modular, gran inversión inicial, largos tiempos de contacto del desecho con el carbón y una regeneración muy costosa.

Se han realizado otros experimentos de adsorción de aceite por atomización de desechos líquidos aceitosos sobre placas de acero inoxidable recubiertas de coke, obteniéndose eficiencias de adsorción desde 50 a 70%, dependiendo de la altura de atomización, presión, flujo atomizado y velocidad de atomización. Este medio de adsorción se regenera por calentamiento a una temperatura de 700 a 800° F.

V.1 OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO

El propósito principal de un sistema de tratamiento, es reducir el contenido de contaminantes que presente un desecho industrial. En el caso de un tratamiento primario, se procura reducir el contenido de aceite a un nivel más bajo que el permitido por la legislación vigente. Pero en la práctica, los desechos aceitosos vienen acompañados por un sinnúmero de diferentes -- sustancias que hacen muy difícil su tratamiento. Por ello, los objetivos específicos del tratamiento se deberán establecer cuidadosamente antes de tomar decisiones sobre la selección del -- proceso a elegir.

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

Además, si el volumen de desecho es pequeño o intermitente, -- este puede tratarse eficientemente y a bajo costo con equipo - disponible comercialmente y con la ayuda y guía de proveedores experimentados. Sin embargo, si el volumen de desecho a manejar es continuo y de gran magnitud, es conveniente contar con una planta específicamente diseñada para este fin, con objeto de - conseguir una máxima eficiencia de operación.

V.2 SELECCION DEL METODO

ESTA TESIS NO DEBE
S-LIN DE LA BIBLIOTECA 79

Los desechos o aguas residuales aceitosas contienen muchas substancias, tanto disueltas como en suspensión. Las gotas de aceite, emulsiones, arcillas y arenas, limaduras metálicas y productos químic^{os} que se hayan precipitado deben mantenerse en suspensión y desnatarse o eliminarse por otros medios. Además, los aditivos y otras sustancias deben neutralizarse y estabilizarse antes de proceder a la separación del aceite.

Para poder hacer lo anterior, debe realizarse un análisis completo del agua residual, para poder seleccionar correctamente la secuencia de tratamientos a seguir.

Tanto los materiales disueltos como los suspendidos, pueden contribuir a incrementar los parámetros de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), las cuales se interpretan como una medida de la toxicidad del agua residual.

La práctica común seguida es eliminar, en primer lugar, la materia en suspensión y continuar con el tratamiento que proporcione la calidad deseada del agua. Los sistemas para eliminar la materia en suspensión se conocen con el nombre de Tratamientos Primarios y utilizan solamente medios físicos de separación. - Existen también tratamientos secundarios y terciarios, los cua-

les se usan para eliminar emulsiones y sólidos finamente divididos, sabor, olor, metales pesados y otro tipo de contaminantes - más problemáticos.

Dentro del tipo de tratamientos primarios, los cuales como ya -- mencionamos, emplean medios físicos de separación, la selección dependerá del volumen de desecho y de la naturaleza y concentración de la materia en suspensión.

La tabla II muestra una serie de recomendaciones útiles para la selección del método o combinación de métodos más apropiados para la eliminación de materia flotante y en suspensión.

TABLA II RECOMENDACIONES PARA LA SELECCION DEL METODO DE TRATAMIENTO PARA LA ELIMINACION DE MATERIA FLOTANTE Y EN SUSPENSION.

[Naturaleza de la Materia en Suspensión]

Volumen del Desecho	Flota	Permanece Estática	Se Sedimenta
Pequeño, irregular e intermitente	1) Sedimentación en lotes. 2) Centrifugación. 3) 1 y 2 mas Calentamiento.	1) Calentamiento mas Sedimentación en lotes. 2) Filtración. 3) Flotación con Aire. 4) Coagulación, Flocculación y Sedimentación en lotes.	1) Sedimentación en lotes. 2) Filtración. 3) Centrifugación.
Grande y contínuo	1) Separación por gravedad. 2) Flotación con - Aire. 3) 1 y 2. 4) Filtración. 5) Centrifugación. 6) 4 ó 5 mas Calentamiento.	1) Filtración. 2) Flotación con Aire. 3) Coagulación, Flocculación y Sedimentación. 4) 1 ó 2 mas Coagulación y Flocculación.	1) Sedimentación. 2) Filtración. 3) 1 y 2 mas Coagulación y Flocculación. 4) Centrifugación.

Fuente: Case Histories and Design Procedures. Refinery and Petrochemical Liquid Wastes. D.L. Ford. (11).

V.3 - Parámetros utilizados para cuantificar el grado de contaminación de un agua residual. (11)

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Es una estimación de la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar los materiales orgánicos biodegradables contenidos en un desecho, mediante una población microbiana heterogénea una vez - aclimatada.

Este parámetro está sujeto a una serie de variables y restricciones entre las que tenemos:

1. Tiempo de incubación
2. Nitrificación
3. Aclimatación de la cepa
4. Toxicidad

Estas se describen brevemente a continuación:

Tiempo de Incubación

Este tiempo que es el necesario para alcanzar la estabilización completa de la materia orgánica, depende de la naturaleza del sustrato y el tipo de microorganismos presentes en la cepa, -- usualmente se toman 5 días.

Muchos hidrocarburos se degradan hasta los 20 días, por eso la DBO_{20} es considerada como la DBO última en varias aplicaciones.

Nitrificación

La DBO se compone por lo general de la cantidad requerida de -- oxígeno para estabilizar compuestos de carbón y la necesaria para estabilizar compuestos de nitrógeno. Es importante distinguir entre la DBO para compuestos de carbón y la de compuestos de nitrógeno.

Debe resaltarse que la demanda de oxígeno debida a compuestos de nitrógeno es una buena porción de la DBO última debido a la presencia de nitrógeno oxidable en forma de amoniaco, NO_2^- y NO_3^- .

Aclimatación de la Cepa.

Esto se refiere al tiempo que debe pasar para que los microorganismos de la cepa se acostumbren a degradar un tipo determinado de contaminante.

Se dice que una cepa está aclimatada cuando posee la capacidad de degradar un contaminante con una buena eficiencia. El tiempo de aclimatación dependerá de la toxicidad del compuesto que se desea degradar y del tipo de microorganismos.

Toxicidad.

La toxicidad puede tener efectos biotóxicos o bioestáticos sobre la cepa de microorganismos.

Esta toxicidad se descubre cuando aumenta el rendimiento de eliminación de DBO al diluir el desecho.

Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Es la medida o cantidad de equivalentes de oxígeno a aquellos constituyentes de una muestra, los cuales son susceptibles a la oxidación al permanganato o dicromato en medio ácido.

Aunque es independiente a los factores que influyen la prueba del DBO, tiene algunas interferencias, como son ciertos hidrocarburos sumamente estables y no son cuantificados. Por ejemplo el benceno es resistente a la oxidación por dicromato.

Debe hacerse notar que para lograr oxidar los hidrocarburos lineales, es necesario utilizar sulfato de plata como catalizador de la reacción de oxidación.

Carbón Orgánico Total (COT).

Es una medida del carbón orgánico presente en una muestra, expresado como carbón.

Esta prueba, realizada con el analizador de carbón es rápida y sencilla, y no se ve interferida por los factores que afectan los resultados para las pruebas de DBO y DQO.

Grasas y Aceites.

Es uno de los principales parámetros de caracterización de un residuo de refinería o de un complejo petroquímico.

La definición de grasas y aceites está basada en el procedimiento analítico empleado y depende de la fuente, el solvente de prueba usado, la relación muestra solvente, el pH de la muestra y la inclusión analítica de material no aceitoso.

Los métodos más empleados para el análisis de grasas y aceites se muestran en la tabla III.

Cada uno de esos métodos tiene su validez, pero hay que emplear aquél que la legislación u autoridad competente haya seleccionado y especificado para aplicarse en el área específica que se quiere controlar.

Una segunda definición se refiere a la forma en la que el aceite es descargado desde una planta.

TABLA III

METODOS PARA LA DETERMINACION DE ACEITE
EN AGUA Y AGUAS RESIDUALES (13)

SOCIEDAD O INSTITUTO	NOMBRE DEL METODO O DESIGNACION	SOLVENTE UTILIZADO	PUNTO DE EBULLICION DEL SOLVENTE °C	DESCRIPCION DEL METODO	MATERIALES DE INTERFERENCIA
Asociación Americana de Salud Pública. (APHA)	Aceite y grasa	Eter de Petróleo	35 - 60	Extracción directa	- - - - -
Asociación Americana de Trabajadores del Agua. (AWWA).	Grasas	n - Hexano	69	Método de Extracción SOXHLET	Azufre elemental y tintes orgánicos.
Federación para el Control de la Contaminación del Agua. (WPCF).					
Sociedad Americana para Pruebas y Materiales. (ASTM).	Materia aceitosa en Aguas Residuales Industriales	Benceno, - Tetracloruro de Carbono δ cloroformo.	60 - 80	Destilación de Aceites Volátiles seguido de extracción directa.	Material tipo - fenólico y azufre coloidal

SOCIEDAD O INSTITUTO	NOMBRE DEL METODO O DESIGNACION	SOLVENTE UTILIZADO	PUNTO DE EBULLICION DEL SOLVENTE °C	DESCRIPCION DEL METODO	MATERIALES DE INTERFERENCIA
Instituto Americano del Petróleo. (API)	Materia aceitosa volátil y no volátil. Método 731-53	Benceno	80	Destilación de aceites volátiles seguido de extracción directa.	Alcoholes, creosoles y ácidos orgánicos.
	Materia aceitosa no volátil. Método 732 - 53	Eter Etilico	35	Floculación con hidróxido Férrico seguido de extracción directa del aceite del floculo mediante el solvente.	Azufre elemental y clorofila.
	Un solvente seguro para análisis de aceite y grasas.	Freon C Cl ₂ F-C ClF ₂	48	Extracción directa y Soxhlet.	

El aceite puede estar libre, emulsionado o soluble.

Se debe realizar una separación de fase antes de analizar el aceite usando uno de los métodos contenidos en la tabla citada.

Los métodos usados para separar esas fases aceitosas son:

- A. ACEITE TOTAL. Determina la cantidad de aceite en una muestra de agua residual.
- B. ACEITE LIBRE. Colocando una cantidad - medida del desecho en un embudo de separación y agitando vigorosamente, se deja posteriormente a la muestra reposar por dos horas. Retire el bajonadante (capa acuosa) y determine su contenido de aceite. El aceite cuantificado corresponde al aceite emulsificado y al soluble. La diferencia entre el aceite total y esta última cantidad, es el contenido de aceite libre en la muestra.
- C.- ACEITE SOLUBLE. Coloque una cantidad conocida de muestra en un embudo de separación y acidule con 10 ml. de ácido clorhídrico concentrado. Añada 200 g/l de cloruro de sodio y 5 g/l de tierra de diatomáceas (caolín). Agite la mezcla vigorosamente y déjela reposar ocho horas o más. Filtre la mezcla a través de un papel filtro húmedo y mida el contenido -

de aceite del filtrado. Esta cantidad corresponde a la fracción soluble de aceite contenida en la muestra.

D.- ACEITE EMULSIONADO. Es la diferencia entre el contenido de aceite soluble y emulsionado y la cantidad de aceite soluble en la muestra.

Una concentración de aceite típica que se ha encontrado en un efluente de refinería es de 70 % de aceite libre, 25 % emulsionado y 5 % de aceite soluble. (11) (35)

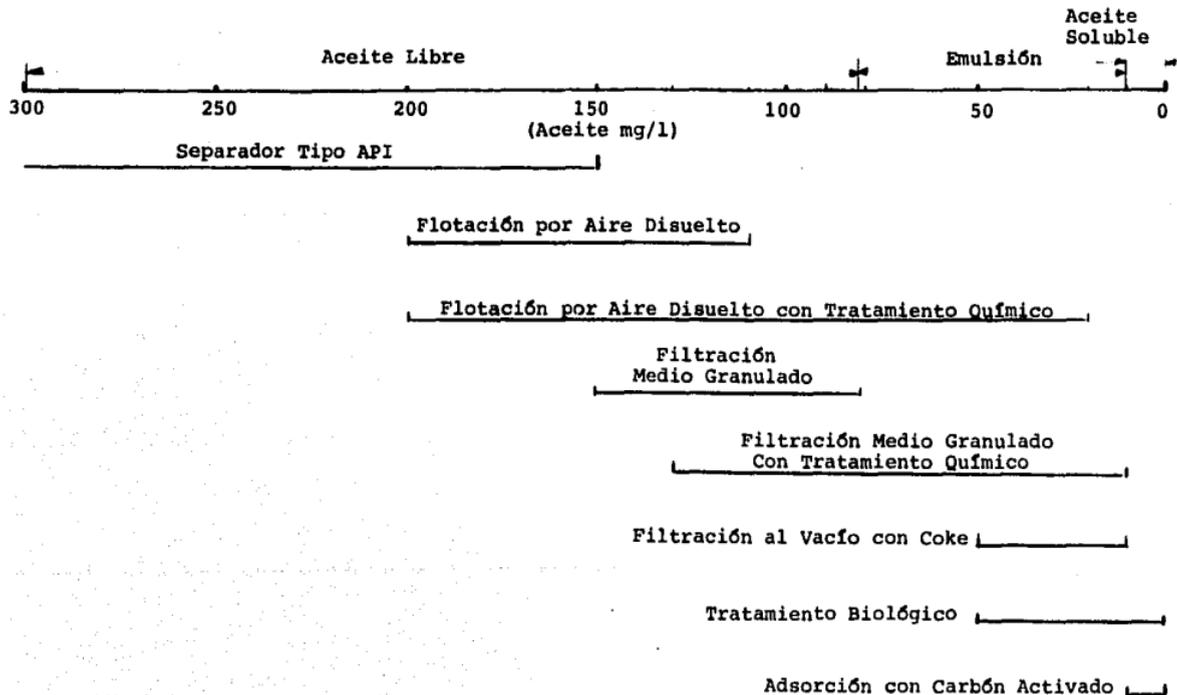
La Tabla IV muestra las características de algunos de los desechos típicos de Refinerías, mientras que la Figura 8 señala el ámbito de aplicación de los diversos sistemas de separación de aceite.

TABLA IV CARACTERISTICAS DE ALGUNOS DESECHOS TÍPICOS DE REFINERIAS.

CARACTERISTICAS*	DESALADO DE CRUDO	CRACKING CATALITICO	CRACKING DE NAFTAS	CONDENSADOS AMARGOS
DBO (mg/l)	60 - 610	230 - 440	-	500 - 1000
DQO (mg/l)	124 - 470	500 - 2800	53 - 180	500 - 2000
Aceite (mg/l)	20 - 516	200 - 2600	160	100 - 1000
pH	7.2 - 9.1	-	-	4.5 - 9.5
Sal (NaCl en peso)	0.4 - 25	-	-	-
	LAVADOS DE ACIDOS DE ALKILACION.	PURGA DE CALDERAS	PURGA DE TORRES DE EN-FRIAMIENTO.	AGUA DE LASTRE
DBO (mg/l)	31	61	33	168
DQO (mg/l)	1251	201	141	342
Aceite (mg/l)	131.5	14	7	44
pH	0.6 - 1.9	12	7.3	-
Sal (NaCl en peso)	-	-	-	1.7

* Valores Promedio
Fuente: (11)

FIG. 8 DIAGRAMA DEL AMBITO DE APLICACION DE LOS SISTEMAS DE SEPARACION DE ACEITE (35)



V.4 DETERMINACION DE GRASAS Y ACEITES SOLUBLES EN CLOROFORMO *

* Método utilizado en el Lab. del CPQ Pajaritos.

Toma de Muestra y Preservación

La muestra se toma en un frasco de vidrio de boca ancha. Se preserva con 2 ml de H_2SO_4 / litro.

Procedimiento

- 1.- Tarar un Matraz Erlen Meyer manteniéndolo a peso constante en un desecador.
- 2.- Tomar una muestra (mientras mayor sea la muestra mayor es la precisión) añadir 25 ml de cloroformo a la muestra que previamente se ha puesto en un embudo de separación.
- 3.- Agitar vigorosamente durante 1 a 2 minutos y dejar reposar.
- 4.- Preparar el matraz tarado con un embudo y papel filtro para recibir la capa orgánica inferior que se acumula en el embudo de separación.
- 5.- Repetir tres veces la extracción con cloroformo.
- 6.- Una vez reunidas las tres fracciones orgánicas de las extracciones se lava con otros 25 ml de cloroformo el bote de muestra y se puede vaciar su contenido al embudo de separación.

- 7.- Se tira la muestra a la que se ha efectuado la extracción y se lava el embudo de separación con otros 25 ml de CHCl_3 .
- 8.- Se evapora casi a sequedad el contenido de cloroformo usando como fuente de calor una parrilla eléctrica.
- 9.- A continuación se pasa el matraz a la estufa ($T=60$ a 70°C) - durante unos 15 a 20 min., hasta que no se aprecie el olor a cloroformo.
- 10.- Se pone el matraz a peso constante ayudado mediante un desecador (Aprox. 1 hr.).
- 11.- Se pesa en una balanza analítica 2 ó 3 veces hasta ver que ya no varíe el peso.

A este peso se le restará el peso del matraz tarado y el resultado se multiplica por 1000 y se divide entre los ml de muestra para obtener mg/l ó ppm de Grasas y Aceites.

NOTA: El # de extracciones es variable dependiendo de la coloración de la capa orgánica de la última extracción, ya que si no es transparente deberá repetirse la extracción hasta que casi lo sea.

Tener cuidado de no quemar las grasas en la estufa.

Hacer con todo cuidado los pesados ya que ahí se comete el máximo de errores.

V.5 CARACTERISTICAS DE PELICULAS DE ACEITE

Se ha determinado experimentalmente que al colocar una gota de aceite en una superficie amplia de agua limpia, este aceite se dispersa sobre esta superficie formando una capa, la cual tiene el espesor de una molécula, esto dependiendo de la tensión superficial del agua.

Estas películas de aceite, al incidir sobre ellas la luz, son las responsables de la formación de brillantes bandas de color sobre la superficie del agua.

Dependiendo del espesor de la película se tiene una mayor o menor estabilidad de la misma. Se ha encontrado en películas delgadas de aceite, que estas desaparecen de la superficie del agua en un tiempo límite, debido a la acción de fenómenos naturales.

A continuación se reproduce una tabla en la cual se proporcionan las características y cantidad de aceite necesaria para producir películas superficiales.

TABLA V CARACTERISTICAS DE PELICULAS DE ACEITE (5)

APARIENCIA DE LA PELICULA	ESPEJOR APROXIMADO DE LA PELICULA. (Pg)	CANTIDAD APROXIMADA DE ACEITE POR MILLA CUADRADA DE AREA DE PELICULA. (Gal)
Escasamente visible bajo - las condiciones de luz más favorables	0.0000015	25
Visible como un resplandor plateado en la superficie del agua	0.0000030	50
Se observan las primeras - trazas de color	0.0000060	100
Se observan brillantes ban - das de color	0.0000120	200
Los colores se tornan opa - cos	0.0000400	666
Los colores son mucho más oscuros	0.0000800	1,332

V.6 Fuentes de Aceite en Aguas de Desecho

El petróleo como ya es conocido, consiste de una mezcla compleja de hidrocarburos con pequeñas cantidades de otros derivados de azufre, oxígeno y nitrógeno. Asociados con el petróleo se encuentran cantidades variables de agua, sales solubles y sedimentos.

En una Refinería se recibe petróleo, se le eliminan esta agua y -- otras impurezas, se procesa y se obtienen productos de valor comer

cial, los cuales se distribuyen para su venta.

En el transcurso de dichas operaciones, especialmente en los procesos de refinación, en el almacenamiento y transporte, se tiene ocasión de que se escape cierta cantidad de aceite. Este desecho sale de las plantas por los drenajes. Otras fuentes de desechos aceitosos son, fugas en líneas, drenado de tanques de almacenamiento y -- tanques acumuladores y toma de muestras.

El lavado de tanques y equipos, la deshidratación y desalado de crudo, la operación anormal ó paro de plantas, y las diversas operaciones de almacenamiento y transporte de crudo, como se mencionó anteriormente, también constituyen fuentes principales de generación de residuos aceitosos.

El tener un buen drenaje y un sistema de recolección, además de separadores de aceite por gravedad es más que suficiente para eliminar el aceite y los sólidos suspendidos del agua residual, evitando así que estos sean emitidos por una planta ó centro de trabajo.

V.7 Drenajes

En una planta debe tenerse un sistema de drenaje de tal manera que se logre una buena segregación ó separación de aguas de desecho, -- tratando en lo posible que aguas de características semejantes sean

procesadas en forma similar, es decir, se deben tener sistemas separados para tratar agua de enfriamiento, agua de proceso y agua de lluvia. El objeto de lo anterior es evitar que aguas que no estén contaminadas con aceite, las cuales representan volúmenes considerables, tengan que ser manejadas por los sistemas de separación de -- aceite, lo que aparte de ser inútil, complica la operación de estos equipos haciendo, además que alcancen dimensiones extraordinarias y excesivas.

De preferencia, los sistemas de tratamiento de agua aceitosa deben de construirse de tal forma que manejen su flujo por gravedad. Si se utiliza bombeo, se recomienda usar bombas de desplazamiento positivo para evitar que la agitación que se proporcione al agua de -- desecho, produzca la formación de una emulsión de agua-aceite, dificultando aún más el tratamiento.

Los sistemas de drenaje deben de contar con coladeras y registros -- que permitan el fácil acceso a los mismos, con esto es posible proporcionar mantenimiento y limpieza en caso de que se tengan acumulación de sólidos y sedimentos.

Se debe proporcionar un venteo adecuado a los drenajes para evitar riesgos de presurización e incendios y explosiones cuando se manejen hidrocarburos ligeros en los mismos.

En muchas refinerías antiguas, no existe una separación de drenajes que sea adecuada, ya que se dan casos de que grandes volúmenes de agua limpia pasan a través de los sistemas de separación de aceite, en otras ocasiones, los drenajes pluviales están conectados al sistema de tratamiento de aceite y algunas veces se agrega a este sistema el drenaje sanitario.

Los drenajes, para poder segregarlos adecuadamente se pueden clasificar en:

Drenaje Pluvial Contaminado

Es aquel que se produce por lluvia y se colecta en las áreas de las plantas en las cuales se maneja aceite regularmente. Estas áreas son diques y techos de tanques de almacenamiento, así como también área de proceso. El agua perteneciente a este drenaje debe de manejarse y regularse en una laguna para evitar cargas pico a los sistemas de tratamiento de aceite.

Drenaje de Agua de Enfriamiento Contaminado

Este drenaje se origina en sistemas de enfriamiento utilizados para intercambio de calor con hidrocarburos que no son fácilmente evaporados.

Drenaje de Agua de Proceso

Está constituido por desechos que han tenido contacto directo con -

aceite y por lo tanto están expuestos a contaminación por emulsificación de aceite. Este tipo de agua residual se produce de purgas de tanques de almacenamiento y tanques acumuladores, deshidratación y desalado de crudos, purgas de torres de enfriamiento y otros. Generalmente este drenaje se trata en separadores y posteriormente por algún otro método, como puede ser coagulación química ó flotación para eliminar el aceite emulsionado.

Drenaje Químico

Proviene principalmente de diversas plantas en las que, debido al tipo de proceso se utiliza algún reactivo en forma líquida, el cual al gastarse tiene que desecharse. Entre estos desechos tenemos sosas gastadas y ácidos gastados. Es recomendable, debido a que estos desechos tienen tendencia de actuar como agentes emulsificantes, excluirlos del sistema de tratamiento para separar aceite hasta neutralizarlos y pretratarlos.

Drenaje de Agua de Lastre de Barcos

Este sistema debe manejar el agua de lastre que utilizan los grandes buquetanques cuando viajan a cargar crudo. Los sistemas consisten generalmente de tanques de almacenamiento de agua de lastre o lagunas de retención, un sistema de separación de aceite, tipo API ó placas corrugadas y una máquina de flotación, desde la que se puede descargar el agua tratada.

Sumamente importante para el diseño de instalaciones de tratamiento de agua de lastre de buquetanques, es la caracterización fsica de las gotas de aceite presentes en esa agua residual, ya que marca los lineamientos a seguir para la selección de los dispositivos de separación agua-aceite, en función del tamaño de la gota y del contenido de aceite del residuo.

El contenido de aceite ha sido determinado por métodos de extracción - evaporación ó bien por extracción - transmitancia, los cuales son bastante complicados; pero no se ha publicado suficiente - información referente a la distribución del tamaño de la gota de - aceite.

Se ha desarrollado un método para determinar el contenido de aceite de una muestra por medio de lecturas de transmitancia, haciendo curvas de calibración para cada tipo de aceite específico en cuestión (turbidez relativa vs. concentración de aceite).

Por otra parte se emplea el método de microfotografía para determinar la distribución del tamaño de gotas y estadísticamente se -- evalúa su talla media.

Drenaje Sanitario

Que se produce en los edificios administrativos que existen dentro de las plantas. Este drenaje se trata en algún sistema de fo-

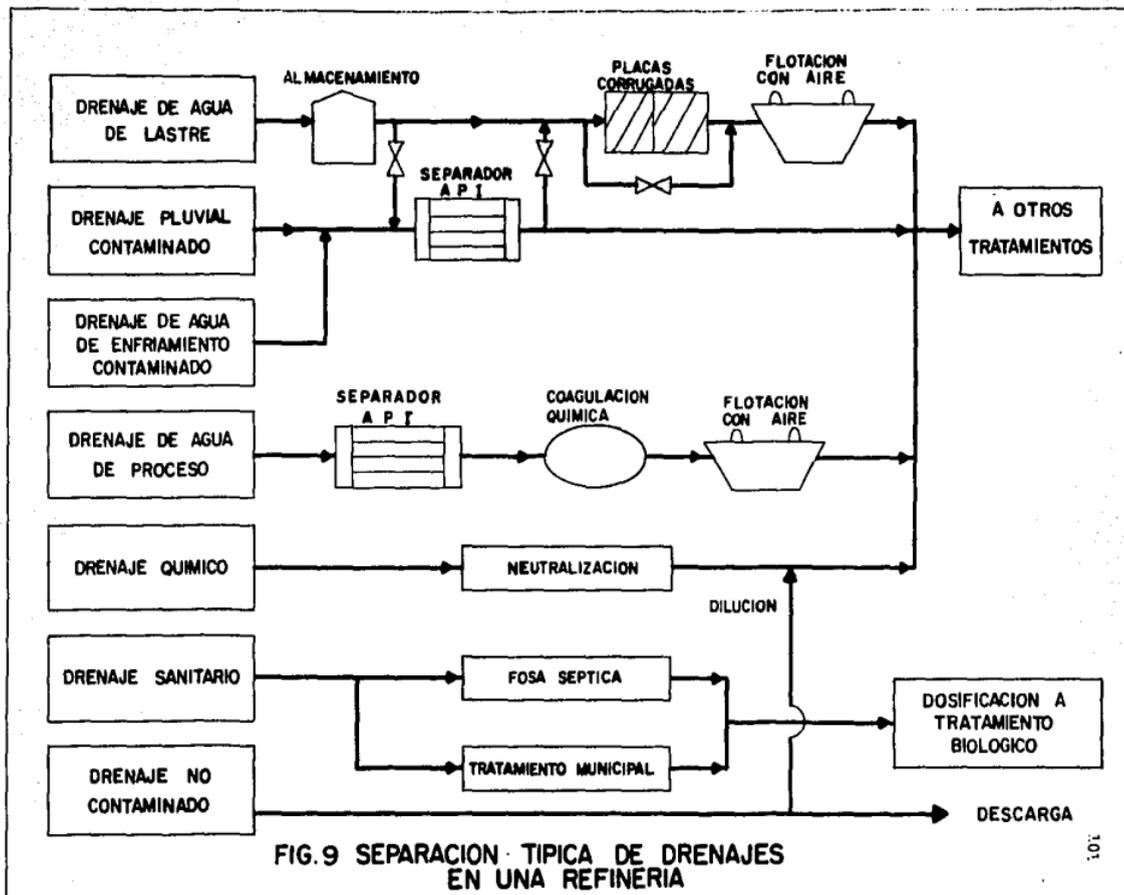
sa séptica existente en la refinería ó bien se envía a una planta de tratamiento de aguas negras del Municipio.

Muchas veces este drenaje se puede utilizar como fuente de nutrientes para alimentarse continuamente a sistemas de tratamiento biológico, tales como lagunas de oxidación, lodos activados y filtros biológicos.

Drenajes Limpios ó no Contaminados

Entre los que podemos enumerar, agua de lluvia no contaminada, -- agua de enfriamiento de equipos de acondicionamiento de aire, drenajes de techos de edificios, agua de regeneración (enjuague) de -- resinas de intercambio iónico, purga de calderas.

A continuación se ilustra un ejemplo de Segregación Típica de -- Aguas Residuales en una Refinería. Fig. 9.



V.8 Separadores Agua Aceite

Estos separadores son diseñados para proporcionar una buena separación de aceite y agua aprovechando la diferencia en densidad relativa que existe entre ambos.

Otros parámetros importantes que tienen influencia primordial en el buen funcionamiento del separador son la velocidad de flujo, el tiempo de asentamiento de los sólidos y la temperatura.

La investigación y el trabajo experimental desarrollado sobre separadores por gravedad han permitido adoptar principios fundamentales que proporcionan bases matemáticas para determinar la forma y dimensiones de estos.

La mayoría de los separadores por gravedad de una refinería, consisten de dos o más canales paralelos que manejen el flujo de agua aceitosa, proporcionando una velocidad adecuada de flujo, tanto para la separación de aceite, como para la sedimentación de sólidos; y que además permitan la continuidad de la operación cuando se quiera reparar, limpiar o inspeccionar alguno de dichos canales.

Los separadores por gravedad no pueden eliminar el aceite emulsionado y deben protegerse contra inundación en el caso de un aumento no previsto de las aguas a tratar.

El aceite contenido en el agua de desecho que se descarga de -

los separadores por gravedad puede ser dividido en tres clases:

- 1) Partículas de aceite que después de un período de - - tiempo razonable alcanzan la superficie en un agua en reposo.
- 2) Aceite adherido a partículas de sedimento que causan_ que se asiente después de un tiempo razonable de permanecer en un agua en reposo.
- 3) Aceite en gotitas o finamente divididas, las cuales - permanecen en suspensión en agua en reposo aún después de un largo período de tiempo.

Los efluentes de los separadores se descargan mediante vertedores, en los cuales puede producirse una considerable agitación, lo cual ocasiona la aparición de películas de aceite en las inmediaciones de los cuerpos receptores, o bien que la agitación haga que se separe aceite que estaba adherido a partículas de sedimento y que éste flote. Por esto es importante que las descargas de este tipo de efluentes se produzcan bajo la superficie y a la menor velocidad posible.

V.8.1 Separadores Agua-Aceite tipo API

El diseño de recipientes de sedimentación ó tanques para separar aceite de agua, utilizando para ello la diferencia en densidad relativa existente entre aceite y agua, ha sido objeto de -

investigación teórica y experimental a lo largo de muchos años. La institución que se ha dedicado a este tipo de estudios es el Instituto Americano del Petróleo debido a lo cual este separador lleva el nombre de API.

Es muy importante recolectar y tratar un agua de desecho a un costo razonable, para lo cual hay que sortear un sinnúmero de problemas de ingeniería que se presentan según la topografía -- particular del lugar, por ello existe una gran variedad de diseños.

Estos separadores se diseñan para eliminar aceite de aguas residuales, antes de descargarlas del centro de trabajo y su tamaño depende de las propiedades del aceite y flujo de agua residual a manejar.

El separador tipo API solo retiene sólidos y líquidos inmiscibles (aceite) que por sus características se pueden separar por diferencia de densidad. Este separador no puede separar sólidos disueltos ni romper emulsiones estables.

La eficiencia de operación de un separador a un flujo dado, depende de la temperatura del agua, la densidad y el tamaño de los glóbulos de aceite, así como de la cantidad y características de la materia en suspensión presente en el desecho.

Un problema común que se presenta en los separadores que han sido construidos de gran tamaño para proporcionar bajas velocidades de flujo, necesarias para la separación adecuada del aceite y el agua, es que no es posible dar mantenimiento, ni hay rastra que pueda mover los lodos que se hayan acumulado en el fondo de dicho separador.

Desde el año de 1930 se realizaron en los Estados Unidos proyectos de investigación con el fin de estudiar los efectos de arreglos de descarga, factores de forma y características hidráulicas de separadores. Gracias a estos estudios se pudieron determinar los principios básicos de diseño de los separadores API.

V.8.1.1 PRINCIPIOS BASICOS DE DISEÑO (5) (6)

La separación de aceite por medio de las diferencias en densidades puede expresarse matemáticamente. Antes de proceder a establecer las ecuaciones de dimensionamiento de los separadores, - debemos mencionar que los hay rectangulares o circulares, - consisten básicamente de un cuerpo ó sección principal, la cual -- de acuerdo al flujo de agua residual que se maneja y dimensiones que ésta posee, debe proporcionar al residuo, el suficiente tiempo de retención para que el aceite flote y pueda ser retirado, ya sea por rastras (lodo aceitoso) ó por un tubo ranurado - (aceite libre).

Cuando una partícula se mueve libremente en el seno de un líquido

do y está sometida a la fuerza de gravedad "g", la velocidad de ascenso ó sedimentación se vuelve una constante cuando el peso de la partícula es igual a su resistencia al movimiento. Dicho de otra manera, la resistencia al movimiento de una partícula en un medio líquido, es igual al peso efectivo de la partícula cuando ésta ha alcanzado su velocidad final ($g \rightarrow 0$).

La ecuación general propuesta por Newton, para la resistencia al movimiento es:

$$D_f = C A \frac{\rho_w v^2}{2} \quad .(V.1)$$

donde: D_f , resistencia al movimiento, (dinas).
 C , coeficiente de arrastre, (adimensional)-
 A , area proyectada por la partícula, (cm^2).
 ρ_w , densidad del agua, (g/cm^3).
 v , velocidad final de la partícula (gota de aceite) en el medio líquido (agua), (cm/seg).

La ecuación que describe la resistencia al movimiento de una partícula esférica pequeña a su velocidad final es:

$$D_f = 3\pi v D \mu \quad .(V.2)$$

donde: μ , viscosidad absoluta del agua de desecho a la temperatura de diseño, (poise).
 D , diámetro de la partícula (gota de aceite), (cm).

Por otra parte, tenemos la ecuación que define el peso efectivo de una partícula esférica, que es:

$$W = \frac{\pi D^3}{6} g (\rho_w - \rho_o) \quad (V.3)$$

donde: W , peso efectivo de la partícula (gota de aceite) en el medio líquido (agua), (dinás).

ρ_o , densidad de la partícula (gota de aceite), (g/cm^3).

g , aceleración debida a la gravedad (981 cm/seg^2).

Si se igualan las ecuaciones (V.2) y (V.3) haciendo $W = D_f$, se obtendrá una nueva relación para v que llamaremos v_a y que se define como la velocidad de ascenso de las gotas de aceite en el agua residual, la cual se expresa como sigue:

$$v_a = \frac{D^2 g}{18 \mu} (\rho_w - \rho_o) \quad (V.4)$$

Esta ecuación no es mas que la bien conocida Ley de Stokes, para la velocidad final de partículas esféricas en un medio líquido.

Esta ecuación deberfa de incluir un coeficiente de deformación (Cr) que depende de las viscosidades relativas del aceite y del agua residual, sin embargo este coeficiente no es necesario calcularlo para fines prácticos, ya que la corrección que debe hacerse a la ecuación (V.4), consiste en dividirla entre C_v , pero este valor es cercano a la unidad y puede omitirse.

Las ecuaciones (V.2) y (V.4) son estrictamente correctas si el número de Reynolds de la partícula de aceite en ascenso (basado en el diámetro de partícula) es menor a 0.5. Sin embargo, la desviación de la Ley de Stokes es ligera y prácticamente despreciable para fines reales.

La aplicación de la ecuación (V.4) hasido ampliamente investigada y se ha determinado experimentalmente que los diseños de separadores de aceite en aguas residuales, deberfan basarse en velocidades de ascenso de glóbulos de aceite con diámetros de 0.015 cm, debido a que se han encontrado datos de separación satisfactorios cuando se tiene este diámetro de partícula. Con esto y realizando algunas substituciones en la ecuación (V.4) tendremos:

$$v_a = \frac{(0.015 \text{ cm})^2 (981 \text{ cm/seg}^2)}{18} \times \frac{1 \text{ pie}}{30.5 \text{ cm}} \times \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ g}}{\text{cm}^3} \times \frac{S_w - S_o}{\mu}$$

quedando entonces la fórmula:

$$v_a = 0.0241 \frac{\text{g pie}}{\text{seg-cm min}} \frac{S_w - S_o}{\mu}$$

con lo que obtenemos la ecuación (V.5)

$$v_a = 0.0241 \frac{S_w - S_o}{\mu} \quad . \quad (V.5)$$

donde:

v_a , velocidad de ascenso del glóbulo de aceite (0.015 cm de diámetro) en agua de desecho, (pie/min).

S_w , densidad relativa del agua de desecho a la temperatura de diseño.

S_o , densidad relativa del aceite a la temperatura de diseño.

en forma general tenemos:

$$v_a = K \frac{\rho_w - \rho_o}{\mu} \quad . \quad (V.5a)$$

en la que el valor de la constante K , depende del sistema de unidades empleado.

Los valores que toma la constante mencionada son:

K	Unidades
0.0241	pie/min
0.01226	cm/seg
0.44136	m/hr

La densidad y viscosidad del agua residual y la densidad del aceite, deben determinarse directamente y utilizar para diseño datos recientes de las mismas, sin embargo, pueden encontrarse en algunas tablas valores teóricos apropiados para el cálculo de éstas propiedades.

Las ecuaciones (V.5) y (V.5a), son válidas para el diseño de separadores rectangulares con flujo uniforme y libres de corrientes de Eddy.

El diseño de éste tipo de separadores se basa en el cálculo de tres variables principales y en cinco reglas deducidas de la investigación.

Relaciones.

1) cálculo del área mínima horizontal.

$$A_h = F \frac{Qm}{v_a} \quad .(V.6)$$

donde:

A_h , área mínima horizontal, (m^2).

F, coeficiente adimensional que considera los efectos de turbulencia y corto circuito hidráulico.

Q_m , gasto de agua de desecho, (m^3/hr).

v_a , velocidad de ascenso, (m/hr).

2) Cálculo de la sección mínima transversal vertical.

$$A_t = \frac{Q_m}{v_h} \quad .(V.7)$$

donde:

v_h , velocidad horizontal de flujo, la cual no debe ser mayor a 15 veces la v_a ni exceder los 3 pies/min --- (54.86 m/hr).

A_t , área mínima de la sección transversal vertical, (pie^2 ó m^2).

3) Relación mínima de Profundidad-Ancho.

$$p/a = 0.3 \quad .(V.8)$$

donde:

p , profundidad para contener agua de desecho en el separador, (pie ó m).

a , ancho de la cámara del separador, (pie ó m).

V.8.1.2 Derivación y Definición de estas Relaciones.

Area mínima horizontal de un separador

En un separador ideal, en el cual no hubiera turbulencia, la eliminación de una suspensión agua-aceite sería función del gasto de descarga, dividido entre el área superficial del separador, es decir, de la velocidad de inundación en el mismo.

Cualquier partícula de aceite cuya velocidad de ascenso sea mayor o igual a la velocidad de inundación, podrá ser separada, o bien, cualquier partícula con v_a mayor o igual al tirante de agua en el separador dividido entre el tiempo de retención, alcanzará la superficie aunque comience su viaje desde el fondo de la cámara del separador.

Por lo que el área requerida para separar el aceite del agua de desecho es:

$$L a = \frac{Qm}{v_a} \quad .(V.9)$$

donde:

L, longitud del separador, (pie ó m).

Esta ecuación es independiente de la profundidad del separador. Esto se cumple en un separador ideal. Pruebas experimentales han indicado que existe un factor adimensional que toma en cuenta -- los efectos de corto circuito y turbulencia.

Un factor que toma el valor de 1.2 se recomienda usar para efectos de corto circuito (F_s). En el caso de turbulencia (F_t), Camp mostró que dicho factor se incrementaba al crecer la relación entre la velocidad horizontal V_h y la velocidad de ascenso de la partícula v_a , es decir la relación V_h/v_a .

El producto de F_s y F_t , nos da el factor F , que es el que considera los efectos de turbulencia y corto circuito y se usa para -

modificar la ecuación (V.9), obteniendo la ecuación (V.6).

Los valores del factor de turbulencia (F_t), se muestran en la ta
bla siguiente:

V_h/v_a	F_t
20	1.45
15	1.37
10	1.27
6	1.14
3	1.07

Cálculo de la Longitud del Separador

Sea A_h el área horizontal del separador real, ecuaciones (V.6) y (V.9)

$$A_h = L a = F \frac{Q_m}{v_a} \quad .(V.10)$$

si $Q_m = V_h \times A_t$ de ecuación (V.7).

$$L = F \frac{V_h}{v_a} \frac{A_t}{a} \quad .(V.11)$$

pero A_t puede expresarse como:

$$A_t = a \times p \quad .(V.12)$$

Substituyendo la ecuación (V.12) en la ecuación (V.11) y simplifi
cando obtendremos:

$$L = F \left(\frac{V_h}{v_a} \right) p \quad .(V.13)$$

Esta ecuación (V.13), nos permite calcular el largo real del separa

dor.

Sección Mínima Transversal del Separador

Se calcula para limitar la extensión en la cual la turbulencia puede afectar la operación del separador. Estos efectos de turbulencia se incrementan como se mencionó anteriormente al aumentar la relación de V_h/v_a . Es posible compensar los efectos de turbulencia disminuyendo la velocidad de inundación. Esto se logra fijando un máximo en la relación de velocidades y en la velocidad horizontal media. Como se anotó antes $V_h/v_a = 15$ y $V_h = 3$ pies/min.

No hay ninguna teoría con relación a estos valores fijados, pero se ha visto, por la experiencia acumulada a través de la operación de este tipo de separadores, que estos son los valores más adecuados para hacer que los equipos operen bien y sean económicos, sin embargo, en algunas ocasiones, cuando el aceite a separar es muy ligero o existen flujos pequeños, se han utilizado para diseño velocidades horizontales de hasta un pie/min.

Relación Mínima Profundidad-Ancho

Como sucede para la relación de velocidades y la velocidad horizontal, esta tampoco ha estado sujeta a un análisis teórico, pero se ha encontrado en pruebas realizadas en separadores experimentales, que para cámaras con la misma superficie, no se presenta ninguna influencia en la retención de aceite hasta que la relación profun-

Aún así, si la economía lo permite, no hay objeción en utilizar una relación de p/a de hasta 0.5.

V.8.1.3 Número y Dimensiones Básicas de los Canales de un Separador

Es común, algunas veces, si se hace uso de las relaciones recomendadas, que sea necesario utilizar dos o más celdas o canales para ellos para cumplir con las limitaciones prácticas impuestas para la instalación y operación de rastras limpiadoras que sean ligeras. Estas limitaciones son:

- 1) Los canales del separador equipados con rastras no deben exceder un ancho de 20 pies (6.1 m).
- 2) El efecto de agitación que causan estas rastras ha dictado la recomendación de que la profundidad mínima del agua para operar dichas rastras es de 3 pies (0.91 m).
- 3) Se recomienda el uso de secciones paralelas en los separadores, de tal forma que sea posible sacar alguna de estas secciones de operación para darles mantenimiento.

A parte de todas las recomendaciones que se han dado, puede haber otro tipo de limitaciones, como pueden ser: topografía del terreno, factores económicos y variaciones en el diseño.

La máxima profundidad de un separador deberá ser de 8 pies (2.4 m).

En resumen, se deben respetar los límites siguientes:

Velocidad Horizontal (Vh).

3 pies/min (54.86 m/h) ó 15 v_a cualquiera que sea la menor.

Profundidad (p).

mínima 3 pies (0.91 m), máxima 8 pies (2.4 m).

Ancho (a).

mínimo 6 pies (1.8 m), máximo 20 pies (6.1 m).

V.8.1.4 Ejemplo de Diseño de un Separador Gravimétrico Tipo API.

Con la finalidad de mostrar algunos de los detalles para el uso de las diversas ecuaciones y recomendaciones existentes para el diseño de separadores de agua-aceite tipo API, a continuación se presenta el dimensionamiento de un caso real, correspondiente a la Refinería A. M. Amor, de Salamanca, Guanajuato.

Datos de Diseño.

Capacidad	3000 GPM = 11.355 m ³ /min.
Concentración de Aceite	1200 a 1500 ppm mín. 2900 a 3000 ppm norm. típico.
Temperatura de Operación	36 °C
pH agua	8.5
Densidad Relativa del Aceite	0.85 a 0.9 @ 20°C
Viscosidad Agua	0.0072 poise = 0.72 cp
Densidad Relativa Agua	0.994

Distribución Estimada de Partículas.

Diámetro de Partícula (micras)	%	Concentración		Eficiencia de Separación Estimada %
		Entrada ppm	Salida ppm	
90 y mayores	60	1800	54	97
60 a 90	25	700	35	95
30 a 60	10	300	90	70
20 a 30	4.5	135	94.5	30
20 y menores	0.5	15	15	0
TOTALES	100.0	2950	288.5	--

Velocidad de Ascenso (v_a).

$$v_a = \frac{g}{18 \mu_{\text{agua}}} (Sg_{\text{agua}} - Sg_{\text{aceite}}) D_p^2$$

Para partículas de 85 micras = 85×10^{-4} cm.

$$v_a = \frac{981 \text{ cm/seg}^2}{18 \times 0.0072 \text{ poise}} (0.994 - 0.9) (85 \times 10^{-4})^2$$

$$v_a = 0.05137 \text{ cm/seg} = 0.10112 \text{ pies/min.}$$

$$= 3.082 \text{ cm/min} = 184.94 \text{ cm/hr.}$$

Velocidad Horizontal (V_h).

$$V_h = 15 v_a$$

$$V_h = 15 (3.082) = 46.23 \text{ cm/min.}$$

$$= 0.4623 \text{ m/min.}$$

$$= 1.516 \text{ pies/min. Cumple, puesto que no}$$

excede los 3 pies/min.

Cálculo del Factor (F).

$$\frac{V_h}{v_a} = \frac{1.516}{0.10112} = 15 \text{ que implica } F_t = 1.37$$

$$F_s = 1.2$$

$$F = F_t \times F_s = 1.37 \times 1.2 = 1.644$$

Si tomamos un arreglo de tres fosas en paralelo para manejar los 3000 GPM, tenemos:

$$Q_m / \text{fosa} = 3000/3 = 1000 \text{ GPM} = 3.785 \text{ m}^3/\text{min.}$$

Area Mínima Horizontal (A_h).

$$A_h = F \frac{Q_m}{v_a} = 1.644 \times \frac{3.785}{0.03082} = 201.9 \text{ m}^2$$

$$A_h = 2171.1 \text{ pies}^2$$

Area Sección Transversal (A_t).

$$A_t = \frac{Q_m}{V_h} = \frac{3.785}{0.4623} = 8.1873 \text{ m}^2$$

Relación Profundidad-Ancho (p/a).

$$(p/a)_{\min} = 0.3 \text{ diseño.}$$

Si la profundidad es de 1.6 m (disponible por terreno) y el ancho máximo no debe exceder los 6.097 m.

$$a = \frac{1.6}{0.3} = 5.33 \text{ m.}$$

Largo (L).

$$L \times a = A_h ; L = \frac{A_h}{a} = \frac{201.9}{5.33} = 37.87 \text{ m.}$$

Resumen de Dimensiones del Separador Tipo API.

PARAMETRO	DIMENSION
Gasto por Fosa (GPM) m ³ /min.	(1000) 3.785
Número de Fosas en Paralelo	3
Velocidad de Ascenso m/min. (m/hr)	0.03082 (1,8494)
Relación V_h / v_a	15
Factor de Turbulencia (F)	1.644
Area Mínima Horizon- tal por Fosa m ²	201.9
Area Mínima Transver- sal por Fosa m ²	8.1873
Relación Profundidad- Ancho	0.3
Largo/Ancho/Tirante ó Profundidad	37.9/5.3/1.6

Se debe considerar una fosa mas de sobrediseño (33 %), para mantenimiento y salidas de servicio.

V.8.1.5 Análisis del Comportamiento del Separador.

Se tienen que recalcular los parámetros importantes de diseño de acuerdo a las medidas reales del separador.

- Cálculo de (v_h).

$$v_h = \frac{Q_m}{A_t} = \frac{11.355 \text{ m}^3/\text{min.}}{4 \times 8.1873 \text{ m}^2} = 0.3467 \text{ m/min.}$$

$$v_h = 1.1372 \text{ pies/min.}$$

- Cálculo de (v_a).

$$\text{Si } \frac{v_h}{v_a} = 15 \text{ eso implica } F = F_t \times F_s = 1.37 \times 1.2$$

$$v_a = \frac{v_h}{15} = \frac{0.3467}{15} = 0.0231 \text{ m/min.}$$

- Cálculo de (A_h).

$$A_h = F \times \frac{Q_m}{v_a} = 1.37(1.2) \frac{11.355 \text{ m}^3/\text{min.}}{0.0231 \text{ m/min.}} =$$

$$A_h = 808.12 \text{ m}^2.$$

- Corrección de (v_a).

$$v_a \text{ corr.} = 0.0231 \times \frac{808.12}{807.6} = 0.0231148 \text{ m/min.}$$

$$v_a \text{ corr.} = 0.03852 \text{ cm/seg.}$$

$$\frac{v_h}{v_a \text{ corr.}} = \frac{0.3467}{0.0231148} = 14.999 \text{ ok.}$$

- Tamaño de Partícula (D_p).

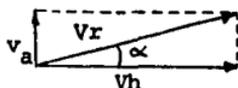
$$0.03852 = \frac{981}{18 \times 0.0072} (0.994 - 0.9) D_p^2$$

$$D_p = \sqrt{\frac{0.03852}{711.527}}$$

$$D_p = 0.007355 \text{ cm} = 73.55 \text{ micras}$$

- Localización de Tubos Desnatadores.

Solución gráfica.



por Teorema de Pitágoras

$$V_r = \sqrt{v_a^2 + V_h^2}$$

$$V_r = \sqrt{(0.0231148)^2 + (0.3467)^2}$$

$$V_r = 0.3474694 \text{ m/min.}$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{v_a}{V_r} = \frac{0.0231148}{0.3474694} = 0.0665232$$

$$\angle \alpha = \text{arc tg } (0.0665232) = 3.8^\circ$$

- Distancia para Localizar los Tubos.

Tirante + 1.6 m.

$$\text{Distancia} = \frac{1.6 \text{ m}}{0.665232} = 24.05 \text{ m}$$

a la que se debe colocar el tubo desnatador a partir del punto de entrada.

- Distancia para Localizar el Canal de Lodos.

Se determina en primer lugar la Velocidad de Precipitación de Sólidos (V_p).

Suponiendo que la densidad relativa de los sólidos con respecto al agua residual es de 2.3 y su tamaño de partícula es de 75 micras, por la Ley de Stokes tenemos:

$$V_p = \frac{981}{18 \times 0.0072} (2.3 - 0.994) (75 \times 10^{-4})^2 =$$

$$V_p = 0.555597 \text{ cm/seg} = 33.33583 \text{ cm/min} = 0.3333583 \text{ m/min.}$$

por Teorema de Pitágoras.

$$V_{rp} = \sqrt{V_p^2 + V_h^2}$$

$$V_{rp} = \sqrt{(0.33333)^2 + (0.3467)^2} = 0.4809662 \text{ m/min.}$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{V_p}{V_h} = \frac{0.3333}{0.3467} = 0.96135$$

$$\theta = \operatorname{arc} \tan(0.96135) = 43.87^\circ$$

- Distancia Máxima en la que se puede Recuperar el Lodo.

$$\text{tirante} = 1.6 \text{ m}$$

$$\text{distancia horizontal} = \frac{1.6}{0.96135} = 1.664 \text{ m}$$

Esta es la distancia máxima en la que teóricamente se precipitarán los sólidos sedimentables mayores a 75 micras.

- Capacidad del Cárcamo de Aceite.

Si la concentración de aceite en el influente es de 2950 ppm y en el efluente de 288.5 ppm, el aceite retenido será de 2661.5 ppm.

Calculando esta cantidad como un % en volumen tenemos:

$$\%Vol = \frac{2661.5}{Sg_o \times 10000} = \frac{2661.5}{0.9 \times 10000} =$$

$$\%Vol = 0.2957$$

Por lo que el aceite recuperado será:

$$\begin{aligned} \text{Aceite recuperado} &= 0.002957 \times 3000 \text{ GPM (1440 min/día)} = \\ &= 12775.2 \text{ gal/día} = 48.35 \text{ m}^3/\text{día de} \\ &\text{aceite al 100\%.} \end{aligned}$$

Si suponemos que este aceite va acompañado de un 80% de - agua, tenemos que ;

$$\text{Capacidad del Cárcamo} = \frac{48.35}{0.2} = 241.7 \text{ m}^3 \times 7 \text{ días}$$

$$\text{Capacidad del Cárcamo/semana} = 1692.4 \text{ m}^3$$

con lo que fácilmente se pueden calcular sus dimensiones - en función del área y tipo de terreno disponible.

- Bomba de Aceite Recuperado.

Se calcula en base de 30 min. a una hora de tiempo de bombeo.

- Mamparas de Retención de Aceite.

Se sumergen de 0.5 a 0.6 veces la profundidad del líquido que esté contenido en el separador.

- Canales de Lodos.

Se les da una profundidad de 2.5 pies. Tienen forma de - pirámide truncada invertida, en su base miden 28 pulgadas y en su corona 2 pulgadas.

- Bombas de Lodos.

Con capacidad para manejar gastos de aproximadamente 25 GPM.

V.8.1.6 Detalles de Diseño.

. Flujo de Agua Residual

Se deben considerar ampliaciones futuras de las plantas en las cuales se instalen los separadores tipo API, para que, en un momento dado, puedan manejar los incrementos de flujo que se produzcan.

Otro aspecto importante es el prever, en el caso de que se maneje parte del drenaje pluvial contaminado en los separadores, las sobrecargas de flujo que sin duda se presentarán en caso de lluvia, debido a que se disminuye la eficiencia de eliminación de aceite.

. Propiedades Físicas del Agua Residual

Otros factores a considerar son:

- 1) Presencia de emulsiones.
- 2) Temperatura, viscosidad y densidad del agua de desecho.
- 3) Cantidad de sólidos sedimentables que se acumulan después de 30 minutos.

Podemos decir que la presencia de una emulsión en un separador, con frecuencia causa el retraso de la recuperación del aceite que en -

otras circunstancias podría ser separado fácilmente.

La Temperatura influye en las propiedades de las partículas de aceite (densidad y viscosidad), haciendo que disminuya su velocidad de ascenso.

Por último, la presencia de sólidos en el separador hace ineficiente su operación, siendo necesario tenerlos en cuenta para establecer programas de limpieza del separador y métodos para el manejo y disposición de lodos.

Asimismo se considera muy importante conocer de manera exacta las propiedades físicas del aceite presente en el agua de desecho, ya que muchas veces estas propiedades son mal estimadas, con lo que se ocasionan errores al momento de realizar el diseño. Para conocer las propiedades del aceite, se deben hacer muestreos de agua residual, romper los aglomerados de aceite que ésta acarrea, dejar sedimentar por una hora y centrifugar el aceite para separarlo del agua y posteriormente determinarle sus propiedades.

V.8.1.7 Otros Aspectos y Criterios sobre el Diseño de Separadores.

Existen diversas instalaciones en las cuales hay separadores de una o de dos etapas, estudios experimentales han encontrado que existe una mejor separación en unidades de una etapa que en las de dos etapas. Además, el separador de una etapa es mucho más recomendable, debido a que es más barato ya que no tiene tantos detalles de inge-

nierfa civil y de construcción.

Para dar por terminado el diseño de un separador, hay que añadir - los detalles estructurales necesarios, tales como sistema de alimen tación, sistema de descarga y mecanismos para coleccionar aceite y sedimentos.

Se debe dotar al separador con barras para detener el paso de basura hacia su interior. Usualmente estas barras son de 3/8 de pulgada y se encuentran separadas en 1.5 pulgadas entre centros. Este elim nador de basura se diseña para limpiarse en forma manual, pero actualmente existen medios mecánicos para efectuar automáticamente - esta limpieza.

El efluente se recibe por la cámara de distribución en la que se tie ne una mampara de distribución. Esta cámara tiene la función especial de repartir el flujo de agua residual en todo el separador, a una - velocidad tal que no interfiera con el funcionamiento de la citada - mampara de distribución.

Se pueden presentar problemas en la operación del separador, ya que se depositan a veces, lodos contra la mampara y la obstruyen, lo -- cual causa una distribución desigual de flujo a los canales del separador. Para evitar esto se construye en el piso del separador, - una especie de tolva o canal que colecciona los sólidos arrastrados - por la corriente de agua residual, el cual sea capaz de captar - los lodos ahí acumulados.

Otro asunto primordial es lograr que la velocidad de distribución del agua residual sea lo más uniforme posible antes de llegar a la mampara de distribución, con el fin de evitar agitación y turbulencias que pudieran formar emulsiones en el agua de desecho, causando pérdida de tiempo en la separación del aceite.

La descarga del efluente en el separador tiene dos etapas claves - en el diseño, la mampara de retención de aceite y el vertedor de la descarga.

Se han realizado pruebas en separadores experimentales con el fin de conocer de qué manera, la mampara de retención de aceite, da un mejor comportamiento en la operación global del separador. Se probaron mamparas elípticas, verticales e inclinadas y no se pudo probar cual era el tipo de mampara que presentaba ventajas sobre las demás. Pero si se pudo comprobar que para mamparas elípticas y verticales, la sumergencia ideal fluctuaba entre 0.5 y 0.6 veces - la profundidad del separador.

Por lo que toca al vertedor de la descarga, podemos decir que al regular este dispositivo el nivel del agua en el separador, es muy importante su correcta instalación, la cual debe fijarse a la altura de la profundidad del agua menos la profundidad del flujo normal sobre la cresta, es decir, la cabeza hidrostática sobre el vertedor. Este vertedor debe construirse de manera tal que sea ajustable. Para calcular la cabeza hidrostática sobre el vertedor, se recomienda usar la fórmula simplificada de Francis.

$$Q = 3,33 LH^{3/2} \quad \dots (14)$$

$$O \text{ bien: } H = \left(\frac{Q}{3,33 L} \right)^{2/3} \quad \dots (15)$$

donde:

Q, Cantidad de Agua de Desecho, (pie/seg) (la que entra al separador)

L, Longitud del vertedor, (ancho del separador) (pies)

H, Cabeza hidrostática sobre el vertedor (pies)

Tubos colectores de aceite y colectores de lodos

El tubo colector de aceite deberá colocarse en el nivel de agua por delante de la mampara de retención de aceite, lo más cercano a éste que sea posible. Este tubo debe ser diseñado para que pueda ajustarse (ser móvil) para recuperar la capa de aceite que se encuentre entre él y la mampara de retención de aceite. Los colectores de lodos y rastras son equipos patentados, sobre los cuales no se tiene mucha información disponible.

Eliminación de Sedimento

El separador debe contar con un canal de al menos 30" de profundidad, en el piso del separador e inmediatamente después de la mampara de distribución. Sus paredes deben tener una pendiente de 1.7/1.0 para evitar la acumulación y compactación de lodos en su interior. El sedimento se extrae de este canal mediante bombeo y posteriormente se desecha el lodo, secándolo y después se quema o bien se utiliza para relleno de tierras.

Eliminación de aceite

El uso de tubos ranurados para lograr la separación de aceite.

Es común emplear tubos de 10 pulgadas de diámetro, pero para seleccionar un diámetro de tubo adecuado hay que considerar tanto las características del aceite a manejar, como el ancho del separador. Para facilitar la descarga de aceite recuperado en un separador, se instala un cárcamo situado por debajo del nivel de operación del separador. Dicho cárcamo cuenta con una bomba - que envía el aceite recuperado ya sea a reprocessar o bien a almacenamiento. Se debe tener en cuenta que la succión de la bomba dentro del cárcamo de aceite recuperado no debe situarse en el fondo, debido a que ahí se acumula el agua que se logra separar de las emulsiones de aceite recuperado.

Control de Evaporación

La emisión de vapores en un separador es otro aspecto que debe vigilarse profundamente ya que puede existir el riesgo de que se forme alguna mezcla explosiva.

En muchas ocasiones se diseñan separadores cubiertos con un techo flotante para evitar dicha evaporación. Otras veces el separador está cubierto solamente en una primera etapa o bien está totalmente cubierto con una losa de concreto o placas de aluminio, con lo que es posible recuperar los vapores liberados.

Materiales de Construcción de los Separadores

Los separadores se construyen generalmente de concreto armado. En la antigüedad se llegaron a construir separadores metálicos, pero ahora esto se considera una idea impráctica por el alto costo que presentan estas unidades, y por otra parte no sería re

comendable usar un separador de este tipo si se maneja un agua residual con características corrosivas (como agua de mar).

Las superficies del separador que estén en contacto con el desecho deben ser lo más planas posibles, evitando porosidad que pueda originar una filtración y en algunas veces corrosión.

Se utilizan partes de metal en mamparas, vertedores, rastras_ y otras piezas de los separadores.

Otros Factores a considerar para el Diseño de Separadores.

- 1.- Diseñar un separador principal y separadores auxiliares en función de la cantidad de flujo de agua residual a manejar y su contenido de aceite.
- 2.- Colocar el separador en un nivel de baja elevación de la refinería.
- 3.- El agua limpia debe desviarse del separador,
- 4.- La selección de un perfil hidráulico correcto, es decir que el nivel de operación del espejo de agua en el separador debe colocarse por debajo del punto de menor elevación del drenaje, para permitir que se produzca una cascada o descarga en el vertedor.
- 5.- Seleccionar, cuando se tiene un terreno plano en el cual no es posible tener un flujo natural por gravedad, si se entierra el separador o se eleva la alimentación al mismo a un costo razonable.

V.8.1.8 RECOMENDACIONES GENERALES PARA HACER MODIFICACIONES A SEPARADORES EXISTENTES.

- 1.- Investigación de los datos del diseño original del separador.
- 2.- Colocación de nuevos tubos recolectores mejorando su diámetro si la instalación así lo requiere.
- 3.- Estudiar las ampliaciones a realizar de separadores existentes tratando de aprovechar la mayor parte posible de la construcción original.
- 4.- Construir un fondo plano a los separadores que no lo tenían.
- 5.- Agregar o eliminar las mamparas que sean necesarias para mejorar la operación.
- 6.- Dotar al separador de bombas loderas para limpieza si no las tiene.

V.8.1.9 OPERACION Y MANTENIMIENTO.

La supervisión de la operación adecuada de un sistema de tratamiento de aguas de desecho, que comprenda las redes de drenaje, separadores y otros sistemas, debe encargarse a una persona que tenga el entrenamiento y capacidad para ello y que además, tenga el gusto de hacerlo.

La persona encargada de esta actividad debe conocer perfectamente las fuentes donde se producen los diferentes desechos (proce

sos) y, en un momento dado, debe dar su opinión para recomendar efectuar los cambios necesarios al drenaje, de tal forma que - sea posible reducir la cantidad de aceite y sólidos a tratar.

Se debe mantener un registro completo de las fuentes, características y cantidad de las aguas de desecho y junto con el personal de laboratorio preparar reportes periódicos sobre la calidad del agua que se descarga de los tratamientos.

Operación

Este es un punto importante, puesto que si un separador, por moderno y sofisticado diseño que tenga, si no cuenta con la atención de operadores calificados, nunca operará satisfactoriamente por sí mismo.

La atención que se debe dar al separador es continua, ya que nunca se sabe cuando en un momento dado se producirá una situación de operación anormal que origine una carga anormal de aceite, -- productos químicos, sedimentos o agua que vaya al drenaje y que transforme la operación normal del separador.

Cuando se presenta una situación como la anterior, se debe actuar de inmediato tratando de solucionar de la mejor forma posible el problema y avisando de inmediato, tanto al supervisor de la planta de tratamiento como al responsable de la operación de la planta donde se sospecha se está originando el desperfecto.

Los separadores deben mantenerse en lo posible libres de aceite y sedimento acumulados, para lo cual cuentan con dispositivos auxiliares de limpieza, como son rastras, desnatadores y bombas loderas.

Cuando una celda del separador se saca de operación y es limpiada, al quererla restaurar al servicio, es necesario llenarla de agua limpia y en el caso de haber sedimentos presentes, permitir que estos se asienten previo a que se reanude la alimentación de desecho.

Mantenimiento.

Los drenajes deben mantenerse limpios en lo posible para evitar azolves y acumulación de sólidos que atraquen el libre paso del agua por los mismos.

Se debe tener un programa de inspección para prevenir fallas causadas por taponamientos, roturas u otras causas.

Todo el equipo debe mantenerse en buenas condiciones de trabajo.

La evidencia de una mala operación y mantenimiento del equipo de separación indica una falta de cuidado en la supervisión del tratamiento. La presencia de pisos manchados o lagunas de aceite indican descuido del operador en la operación de desna-

tado y vaciado del cárcamo colector de aceite recuperado. Para una buena operación es básico el orden y limpieza de las -- instalaciones.

V.9 Métodos Químicos.

Se han desarrollado métodos eficientes para tratar las emulsiones agua-aceite que se originan en refinerías, debido a estudios y pruebas de laboratorio.

La mayoría de estos métodos consisten en la neutralización de -- la emulsión y la consecuente adición de una sal o un metal pesado que rompa la emulsión. Otra práctica común es tratar la -- emulsión por calentamiento y posteriormente dejar sedimentarla. Cuando el calentamiento no es suficiente para romper la emul -- sión, se agrega algún producto químico deshidratante o desemu -- sificante.

Se ha utilizado además una serie de técnicas diferentes para el rompimiento de emulsiones, tales como filtración y aplicación -- de corriente directa, siendo los métodos más modernos los de -- floculación química, (compuestos de aluminio o hierro), flota -- ción con aire o con gas.

La floculación química solo se utiliza para alcanzar en el dese -- cho un nivel aceptable de aceite, debido a que tiene unos costos de inversión y operación muy elevados, además de ocasionar pro --

blema de manejo de flóculos aceitosos.

Al usar un método de flotación con aire se obtiene un desecho con bajo contenido de aceite. El desecho a tratar en una máquina de flotación, debe haberse tratado previamente en un separador por gravedad para eliminarle la mayor cantidad de aceite posible, debido a que este es un sistema que se utiliza para dar "acabados" muy sofisticados a los efluentes.

No es el objetivo de este trabajo presentar una teoría a fondo acerca de la formación de emulsiones, pero si podemos definir una emulsión como una mezcla íntima de dos fases de aceite y agua, en la cual una de estas sustancias estará en la fase -- continua y la otra en fase dispersa.

Esta fase dispersa está estabilizada por una película interfacial que no permite que los glóbulos formados se unan entre sí y no son atraídos por la fuerza de gravedad.

Existen cinco factores que influyen la estabilidad de una emulsión, estos son:

- 1) Capa monomolecular de agente emulsificante en la interfase de la emulsión.
- 2) Naturaleza y cantidad de los agentes emulsificantes.
- 3) Viscosidad de la fase continua y de la emulsión.

- 4) Película interfases mecánicamente resistente.
- 5) Temperatura, dilución, agitación y tensión superficial.

Una tensión superficial baja en la interfase del agua favorece rá una emulsión aceite agua.

V.10 SEPARADOR DE PLACAS CORRUGADAS

En este sistema se hace que el agua residual entre a una velocidad menor a 1 pie/seg. con lo que las partículas de arena pueden sedimentarse (flujo laminar), acumulándose en el fondo para ser eliminadas. Por otra parte el aceite que flota se elimina en la superficie por medio de un desnatador. (Figura 10).

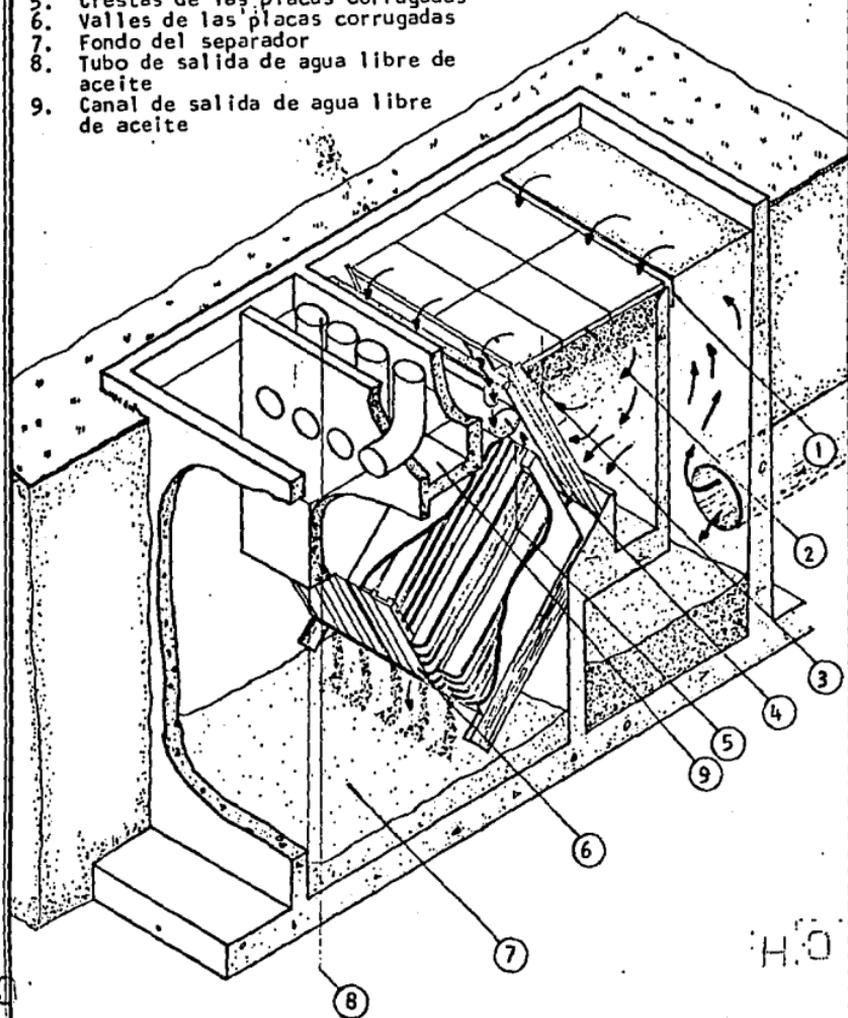
La unidad de placas corrugadas, la cual se fabrica de láminas paralelas de fibra de vidrio, espaciadas aproximadamente $3/4"$, y colocadas a un ángulo de 45° en dirección del flujo, tiene un tamaño de $69" \times 42" \times 39"$, proporciona unos 550 pies^2 de área (proyectada horizontalmente).

La capacidad de un separador de placas corrugadas depende del nivel al cual se logre aumentar la velocidad de sedimentación de las partículas a eliminar, esto a su vez depende del flujo, tamaño de partícula, temperatura y diferencia de densidades entre el agua y el aceite a separar.

FIGURA No.10

SEPARADOR DE PLACAS CORRUGADAS (43)

1. Vertedero de entrada
2. Cubiertas flotantes de poliuretano
3. Placa de distribución
4. Tubo recolector de aceite
5. Crestas de las placas corrugadas
6. Valles de las placas corrugadas
7. Fondo del separador
8. Tubo de salida de agua libre de aceite
9. Canal de salida de agua libre de aceite



Para poder aumentar la eficiencia de separación del separador - de placas corrugadas, con objeto de eliminar partículas más pequeñas es necesario cerrar la separación de colocación de las - placas corrugadas.

Dimensionamiento.

Para conocer la cantidad de paquetes de placas corrugadas necesaria para eliminar partículas de aceite en un efluente de refinera, es necesario contar con la información siguiente:

Flujo GPM

Tamaño de Partícula que se desea eliminar (Micras)

Temperatura de flujo

Densidad del agua

Densidad del aceite

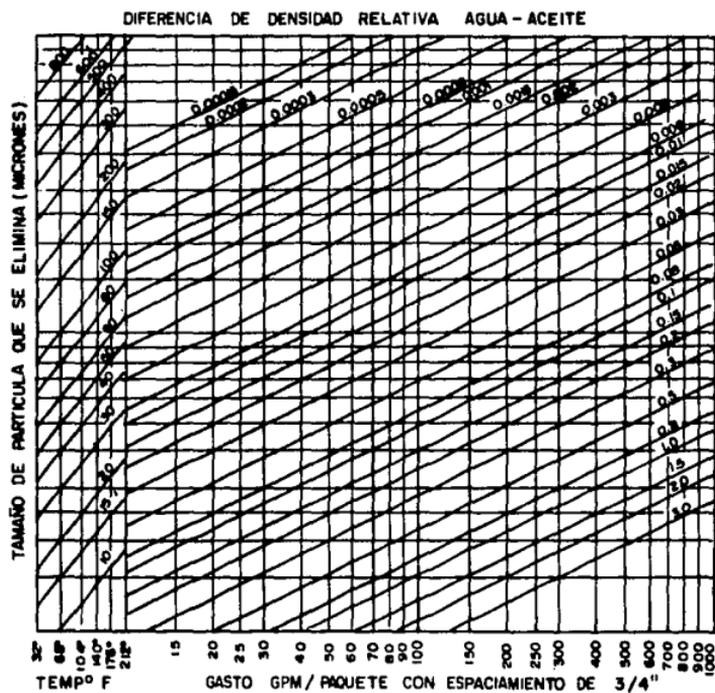
El procedimiento que se usa es gráfico, empleando el diagrama - siguiente, creado por el fabricante de estos equipos LANCY SYSTEMS, CO. (Ref. 37). Fig. 11

V.11 FLOTACION CON AIRE. (34)

Este sistema todavía se utiliza en la industria minera con objeto de lograr la concentración de minerales.

También se ha aplicado en otras industrias como la del papel, - para recuperación de fibras de celulosa.

FIG. II NOMOGRAMA PARA DIMENSIONAR PAQUETES DE PLACAS CORRUGADAS (37)



Desde los años cincuenta se inició la aplicación de la flotación con aire a los desechos industriales con objeto de eliminar sólidos suspendidos y aceite.

Con el uso de este tratamiento pudo hacerse posible mejorar en alto grado la calidad de las aguas que se descargaban de una planta, debido a que se consiguió resolver el antiguo problema que presentaba la separación por gravedad de aglomerados de -- aceite y sólidos cuya densidad se aproximaba a la del agua. Este proceso asegura una densidad promedio de dichos aglomerados, substancialmente menor que la del agua.

La flotación con aire nunca se debe usar para substituir 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 objeto de mejorar la calidad del efluente, ya que se proporciona una etapa más de separación.

Como se explicó en forma breve durante el capítulo de Generalidades, existen dos tipos de flotación con aire.

En el primero, la corriente total de agua de desecho se somete a presión (30 a 50 psig.) y se satura con aire, manteniéndose esta condición durante 1 a 2 minutos en un tanque de retención.

Posteriormente se hace disminuir la presión hasta condiciones atmosféricas en la cámara de flotación (● 10-15 min), con lo que se origina una liberación de burbujas microscópicas de aire, como sucede al destapar un refresco, lo cual ocasiona que estas burbujas formen aglomerados con las partículas en suspensión, haciendo que éstas tengan un ascenso a la superficie a una velocidad comprendida entre 0.5 y 1.0 pie/min. Formándose en la superficie una especie de nata, la cual es posteriormente eliminada.

El segundo método de Flotación con aire es similar, solo que el aire se disuelve solo en una parte de la corriente clarificada que es recirculada. Esta corriente se inyecta en uno o varios puntos de la cámara de flotación, con lo cual produce la liberación de burbujas de aire que arrastran las partículas suspendidas a la superficie. Pueden utilizarse productos químicos flocculantes [$Al_2(SO_4)_3$ - $FeSO_4$] si las características del desecho así lo justifican y se mejora la efectividad del proceso.

Los factores que tienen una influencia directa en la formación del floculo son: temperatura, dosis de flocculante, pH y tiempo de contacto.

Los equipos de flotación con aire son fabricados de acero y -- sus capacidades de tratamiento varían, aumentando en rangos de 1000 GPM.

Existen muchos tipos que son fabricados por varias Compañías, pueden ser rectangulares o circulares.

La efectividad de un proceso de flotación con aire puede ser determinada con pruebas de laboratorio, esta efectividad es directamente proporcional al volúmen de gas liberado dentro de la celda. Se pueden hacer experimentos con gastos de 500 a 1000 ml y diferentes presiones de operación.

Las aguas residuales o desechos con propiedades especiales o extrañas deben ser estudiados en laboratorio como una etapa preliminar a la aplicación de un proceso de flotación con aire.

UNIDAD DE FLOTACION POR AIRE DISUELTO. (26)

La primera aplicación de la flotación para tratamiento de aguas se adoptó para mejorar el rendimiento de los separadores de aceite, como ayuda y para protección de la etapa de tratamiento biológico. Con este proceso es posible separar en forma económica -- aceites y materia flotante.

La producción de finísimas burbujas de aire o gas, necesarias para la flotación, puede lograrse por vía química, por electrolisis, producción de vacío ó por disolución de aite a alta presión, con el subsecuente depresionamiento.

Bases del Proceso.

Para lograr igualar la densidad entre las fases o bien para aumentar la velocidad de ascenso de las partículas, éstas deben ponerse en contacto con una o más burbujas de aire y permanecer adheridas con suficiente firmeza hasta poder flotar. Algunas veces es necesario agregar sustancias floculantes.

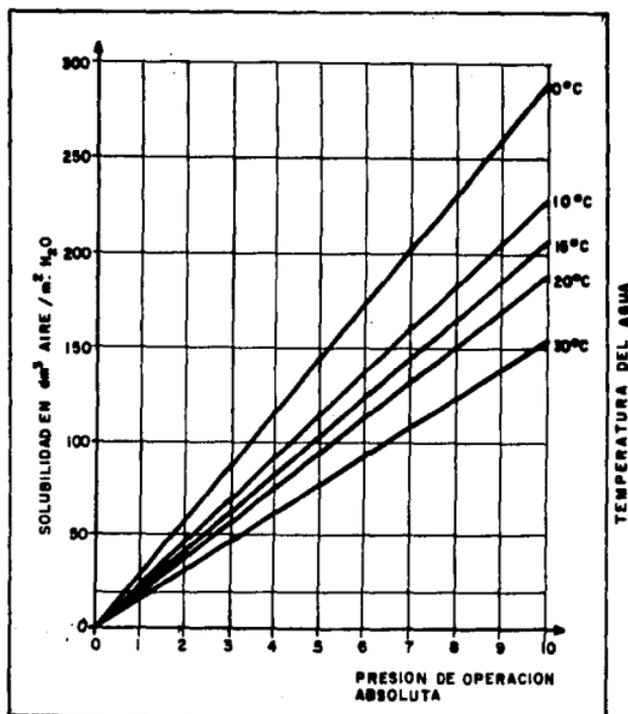
El tamaño del material por separar, así como su característica hidrofílica, requiere de burbujas de aire de 0.1 a 0.2 mm. -- de diámetro, ya que si se usan burbujas de mayor tamaño no se lograría la adherencia de la burbuja a la partícula por separar del desecho.

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

De acuerdo a la ley de Henry, la solubilidad del aire en agua aumenta proporcionalmente con la presión. Por lo que al disminuir la presión, al reducirse la solubilidad del aire en el agua, se producirán pequeñas burbujas (efecto del agua lechosa).

De la Fig. 12 se pueden calcular las cantidades de aire liberado a diferentes presiones y temperaturas.

FIG.12 SOLUBILIDAD DEL AIRE (0° C, 1.01325 bar)
EN AGUA DULCE



Básicamente existen tres procesos de flotación:

- 1) Corriente total
- 2) Corriente parcial
- 3) Recirculación.

Con respecto a la presión de operación de un sistema de flotación, podemos decir que este debe fluctuar por los 4.5 a 7 bar, ya que presiones bajas producen burbujas de aire muy grandes que no ayudan a la flotación, mientras que presiones altas acarean problemas de orden técnico y económico.

Muy importante es el tiempo que transcurre entre el depresionamiento a condiciones normales y el mezclado con el efluente. Este tiempo debe ser lo más pequeño posible para evitar formación de burbujas grandes con poca adherencia.

Las máquinas de flotación pueden construirse tanto circulares como rectangulares. Las primeras se construyen en un rango de diámetro de 6 a 24 m. y las rectangulares con un largo de 5 a 25 m. por un ancho de 2 a 7 m.

Su selección depende del terreno disponible y de los requerimientos de limpieza del equipo en función del contenido de materia a separar.

Los flujos que tratan las unidades circulares son de - - - -

160 @ 2600 m³/h, mientras que las rectangulares fluctúan de -
120 @ 1050 m³/h.

La carga hidráulica de diseño que se usa en sistemas presurizados es aproximadamente 2 Gal./min. pie² y del doble cuando se trata de un sistema a presión con recirculación.

Pruebas piloto y resultados preliminares indican que es necesaria una inyección de gas de 0.25 a 0.35 pies³ std/barril dependiendo de la cantidad de aceite a eliminar del desecho.

Las unidades de flotación circulares se recomiendan cuando se tiene lo siguiente:

- 1.- Alto contenido de sólidos, hasta diámetro de 14 m.
- 2.- Aguas corrosivas con bajo contenido de sólidos.

Ventajas:

El consumo de reactivos químicos en una planta de flotación es de un 20 a 30% menor que en una de sedimentación.

La concentración de los sólidos separados por este proceso es mayor que en el proceso de sedimentación por gravedad, por lo tanto se cuenta con una disminución del 40 al 60% de su volumen.

La velocidad de ascenso de las partículas adheridas a burbujas de aire es mayor que la velocidad de asentamiento en el caso de

un proceso de sedimentación (3 a 4 veces más grande), por lo que la superficie de tratamiento en una flotación es del 25 al 40% del tamaño que se tendría que utilizar en una sedimentación.

Además el proceso de flotación tiene:

- Instalación de menor tamaño.
- Su consumo de energía para una recirculación del 30% y una presión de operación de 5.5 bar es de 0.1 a 0.12 --- KWH/m³ de agua tratada.

PARAMETROS DE DIMENSIONAMIENTO.

- Carga de superficie de tratamiento 4 a 6 m³/m²
- Recirculación 20 al 50% de la alimentación
- Presión de Operación 5.5 a 6 bar (absolutos)
- Tiempo de residencia en el tanque de saturación de aire. 1 a 3 min. recomendándose 90 seg.
- Tiempo de residencia en cámara de flotación 10-15 min.
- Consumo de aire 1.5 veces el de la disolución teórica.

Con estos factores se tiene seguridad para absorber cualquier fluctuación de la carga.

PARAMETROS PARA FLOTACION A SOBREPRESION

- Carga por superficie de tratamiento	4 a 8 kg. sólidos/m ² max. 3 m ³ /m ²
- Recirculación	5 a 200% de la alimentación.
- Presión de Operación	5.5 a 6 bar (absolutos)
- Tiempo de residencia en el tanque de saturación de aire.	90 seg.
- Consumo de aire	1.25 veces la solubilidad teórica.

DETERMINACION DE PRESION DE OPERACION Y CANTIDAD NECESARIA DE RECIRCULACION.

Se utiliza una fórmula práctica:

$$L = \frac{K \times C_s}{100 - GS} \times 10^{-3}$$

L = (P-1)R

P = Presión de operación (bar) absoluta.

R = Recirculación (fracción decimal)

C_s = Cantidad de partículas en suspensión (mg/l)

GS = Grado de separación (70-98%)

K = Coeficiente que depende de la naturaleza de las partículas en suspensión.

TABLA VI VALORES DE K

	K
Flóculos de cal con substancias Grasas o Jabonosas	4 - 6
Flóculos Grasos	1 - 2
Flóculos Aceitosos	8 - 10
Flóculos Hidroxílicos (Fe^{3+}, Al^{3+})	6 - 8
Fibras de papel	2 - 4

En este método la principal dificultad se encuentra en la obtención del valor correcto de K. Se debe tener en cuenta que la eficiencia del método disminuye al tener poca concentración de partículas en suspensión, debido a que no se aprovechan todas las burbujas de aire formadas.

TABLA VII

DATOS DE DISEÑO PARA PROCESOS DE FLOTACION
POR AIRE DISUELTO

Flujo	nor/max	GPM	3000/3400
S. Suspendidos	ppm		106
Aceite	ppm		186
pH			6-8
T	°C		25-30

CALIDAD AGUA TRATADA

S. suspendidos	ppm	4
Aceite (nor/max)	ppm	10/15
pH		6/8

V.12 DISPOSICION SUBTERRANEA DE AGUA RESIDUAL. (7) (33)

Como ya se mencionó en este trabajo, el agua salada asociada al crudo producido es una fuente potencial de una grave contaminación en la Industria Petrolera.

La inyección de este tipo de agua residual a pozos no es un método que se utilice en gran escala en nuestros días, pero hablaremos brevemente del estado que guarda este método para eliminación de agua residual.

La inyección subsuperficial de salmueras no deseadas se ha realizado desde hace casi seis décadas en la industria petrolera, convirtiendo pozos que producían grandes volúmenes de agua, en pozos inyectoros. Antiguamente las aguas producidas se almacenaban en lagunas descubiertas con objeto de que se produjera una evaporación, pero desafortunadamente, esta agua ha encontrado camino hacia corrientes superficiales y ríos en los que causa grave nivel de contaminación. En algunas ocasiones se ha producido contaminación de acuíferos y cuando esto lo detectan las autoridades ya no se permite continuar con este tipo de prácticas.

Se ha encontrado que en ciertos pozos se mejora la recuperación de aceite inyectándoles esta agua salada, pero hay que tener cuidado porque a veces se han taponado buenos pozos productores, debido a precipitados formados cuando el fluido inyecta

do entra en contacto con los fluidos que forman parte del yacimiento.

Los pozos para inyectar aguas saladas al subsuelo tienen un rango de profundidades desde unos cuantos metros hasta unos mil quinientos metros. Se debe cuidar la inyección de desechos líquidos a yacimientos a presiones cercanas a la de fracturamiento ya que si este se fractura verticalmente puede causarse la contaminación de acuíferos naturales.

Otros autores no recomiendan inyectar desechos líquidos en acuíferos que contengan menos de 10,000 mg/l de sólidos disueltos totales.

Para prevenir problemas de taponamiento se sugiere usar filtros de arena o multimedio para retener partículas mayores a 30, μ y tierras de diatomeas para partículas menores a 1, μ .

Selección del lugar para perforar el pozo.

Las características geológicas que deben existir para perforar un pozo para disponer el agua salada son:

- 1) Poseer suficiente porosidad, permeabilidad y capacidad para aceptar el volumen de agua que va a ser inyectada.
- 2) La zona de inyección debe encontrarse libre y lejos de zonas de agua pura y estar aislada verticalmente por rocas impermeables.

Se debe evitar usar zonas de valor comercial potencial.

La información que debe obtenerse para hacer la evaluación de la zona propuesta para la perforación del pozo, es:

- 1) Profundidad a la que se encuentra el agua limpia.
- 2) Secuencia de formaciones geológicas.
- 3) Espesor, porosidad, permeabilidad y temperatura del estrato donde se inyectará el agua residual.
- 4) Tomar una muestra de agua de este estrato.
- 5) Perfil de inyección.
- 6) Núcleo de la zona de disposición.
- 7) Registros eléctricos, sónicos y radiactivos.

INSTALACIONES SUPERFICIALES.

En algunas ocasiones es necesario dar un tipo de tratamiento de terminado al agua residual antes de inyectarla al subsuelo.

Este tratamiento por lo general tiene como objetivo liberar el agua residual de sólidos y aceite, los cuales puedan dañar el equipo de bombeo, por lo que el tratamiento que se aplica es - por lo general una filtración y/o una coalescencia.

V.13 FILTRACIÓN PARA ELIMINACION DE ACEITE.

Este método, como un etapa de pretratamiento para la eliminación de sólidos y aceite es un sistema que puede usarse solo o

en forma conjunta con separadores por gravedad ó máquinas de -
flotación con aire.

Estos dispositivos han probado ser muy efectivos para eliminar
aceites libres y en emulsión. Los medios filtrantes que se --
usan varían desde arena hasta algún material especial que ofrez
ca alguna afinidad específica por el aceite. Los ciclos de --
filtrado varían según el contenido de sólidos en el desecho.
Por otra parte, la regeneración del lecho se lleva a cabo intro
duciendo un flujo rápido de agua limpia que evacúe los sólidos
y el aceite remanente.

Algunas de las desventajas en los sistemas de filtración se en
cuentran en: problemas con emulsiones estables de aceite, acumu
lación de basura, altos costos de mantenimiento y de operación,
reportándose algunas veces eficiencias menores a los de siste
mas de separación por gravedad.

Una práctica común es la de proporcionar al efluente un acabado
final, mediante el uso de filtros de medio dual (arena y carbón),
a flujos de 3 GPM/pie², los cuales eliminan los residuos de --
DBO, grasas y aceites y sólidos suspendidos.

El retrolavado de estos filtros se sedimenta y el agua decantada
se recircula para su tratamiento en máquinas de flotación.

Las unidades de filtración de agua residual aceitosa en medio poroso se basan en el principio de D'Arcy para el flujo por gravedad de una mezcla líquida de dos fases.

La ley de D'Arcy enuncia que la velocidad de un fluido homogéneo en un medio poroso es proporcional al gradiente de presión e inversamente proporcional a la viscosidad del fluido. Esto se expresa matemáticamente por:

$$v = - \frac{K}{\mu} \frac{dp}{ds} \quad \dots(V.16)$$

donde: V = Velocidad aparente (cm/seg)

μ = Viscosidad del fluido (cps)

$\frac{dp}{ds}$ = Gradiente de presión (atm/cm)

K = Permeabilidad (D'Arcy)

Esta ley se aplica solamente para flujo en régimen laminar, de ahí la necesidad de controlar la velocidad de flujo de alimentación a la unidad de filtración.

La permeabilidad de un medio poroso es su habilidad para permitir el flujo de fluidos a través de él.

De la ec. (V.16)

$$-\frac{dp}{ds} = \bar{v}_p = i \frac{\partial p}{\partial x} + j \frac{\partial p}{\partial y} + k \frac{\partial p}{\partial z} \dots (V.17)$$

Para flujo por gravedad (vertical)

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad \text{y} \quad \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \quad \dots (V.18)$$

Por lo que

$$\frac{dp}{ds} = \frac{dp}{dy} \quad \dots (V.19)$$

Substituyendo (V19) en (V.16) se obtiene

$$v = - \frac{K}{\mu} \frac{dp}{dy} \quad \dots (V. 20)$$

pero por definición $v = q/A$ entonces,

$$\frac{q}{A} dy = - \frac{K}{\mu} dp \quad \dots (V.21)$$

integrando esta ecuación (V21) entre los límites

de 0 a L y de P_2 a P_1 tenemos:

$$\frac{q}{A} \int_0^L dy = - \frac{K}{\mu} \int_{P_1}^{P_2} dp \quad \dots (V.22)$$

$$\frac{q}{A} L = - \frac{K}{\mu} (P_2 - P_1) \quad \dots (V.23)$$

con lo que:

$$q = \frac{KA}{\mu L} (P_2 - P_1) \quad \dots (V.24)$$

K es en este caso la permeabilidad absoluta y la permeabilidad relativa es la relación entre la permeabilidad efectiva y la permeabilidad absoluta.

$$K_{ro} = \frac{K_o}{K} , K_{rw} = \frac{K_w}{K} \quad \dots (V. 25)$$

Se puede observar que la separación dependerá de la viscosidad del fluido y de la sección transversal del separador por donde pasa el flujo.

La Gráfica 13 muestra la permeabilidad relativa del aceite y del agua con respecto al medio poroso.

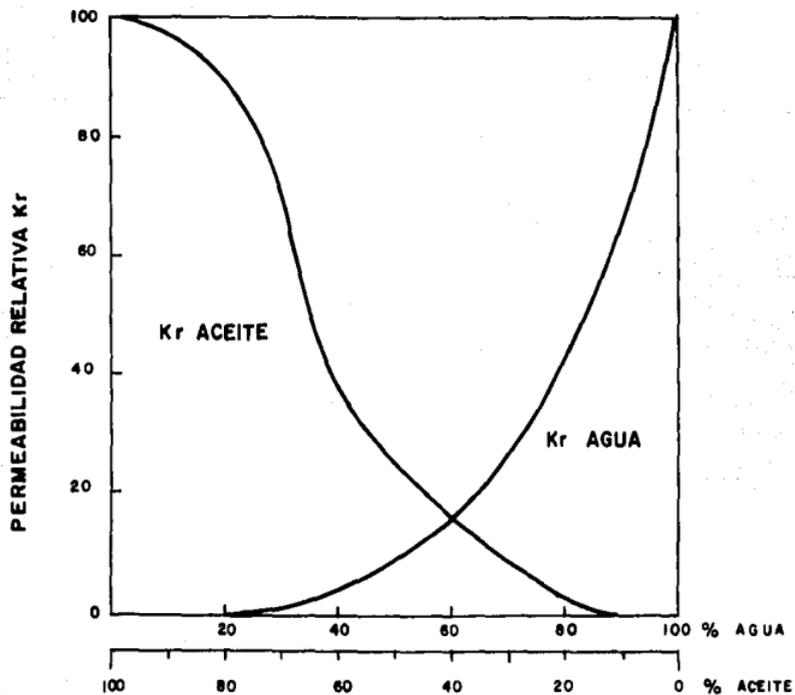
Las trazas de las curvas son coeficientes de permeabilidad relativa como fueron desarrolladas por D'Arcy.

Las abscisas muestran la concentración del aceite y del agua.

Puede observarse que cuando el aceite y el agua se encuentran mezclados la penetrabilidad o permeabilidad de cada fase decae rápidamente.

Ya que la alimentación a un separador de aceite tiende a tener una cantidad relativamente baja de aceite en una mayor cantidad de agua, la región de la curva que tiene mayor interés para este tipo de proceso, es aquella en la que hay menos del 15% de aceite, es decir aquella que se encuentra cerca de la saturación crítica de aceite, en la cual la fase no-mojante (aceite) ya no puede fluir y es retenida por el medio poroso. Por esto, un sistema basado en este principio tiene un buen potencial de separación.

FIG.13 PRINCIPIO DE D'ARCY PARA EL FLUJO POR GRAVEDAD DE DOS LIQUIDOS MEZCLADOS A TRAVES DE UN MEDIO POROSO (23)



Los rangos de calidad del efluente obtenido de este tipo de sistemas fluctúa entre las 15 y 40 ppm dependiendo de la concentración de aceite en el influente.

V.14 SEPARADORES DE AGUA DE DESECHO QUE SE UTILIZAN EN PLATAFORMAS.

Se utilizan dos tipos de equipos separadores con el propósito de lograr que el agua que se descargue en el mar, no tenga arrastre de aceite, estos equipos son: tanque tipo caja y la coraza o tubo sumergido.

El primero de ellos es sencillamente un recipiente rectangular - fabricado con láminas de acero, el cual cuenta con una mampara instalada hacia un extremo del mismo.

Esta mampara tiene por objeto mantener la interfase agua-aceite por debajo de su extremo superior, con el fin de permitir que el aceite que se va acumulando pueda drenarse a otro compartimiento de donde puede recuperarse Fig.14 . De aquí el aceite - puede bombearse a otras instalaciones de almacenamiento o bien a la línea de aceite principal que se envía desde la plataforma.

Por otra parte, el agua clarificada que se encuentra por debajo de la capa de aceite, se descarga por gravedad al mar.

El volumen y configuración de este recipiente de tratamiento puede calcularse fácilmente usando las propiedades físicas del aceite y del agua, junto con el flujo máximo estimado de agua de desecho.

Muchas veces se desea remplazar este recipiente por un tanque - cilíndrico horizontal, que aunque ahorra espacio, lo cual es vital para toda plataforma, puede ocasionar otros problemas que - afectan la eficiencia de operación en la separación de aceite, debido a alteraciones en la velocidad de flujo, las cuales afectan la velocidad de ascenso de las burbujas de aceite que se -- separan por diferencia de densidades. Otra desventaja que tienen estos tanques horizontales es que no presentan la misma -- área de sección transversal desde el fondo del tanque hasta la parte superior de la capa de aceite.

El segundo equipo, de tubo sumergido es uno de los sistemas mas ingeniosos de separación de aceite. Simplemente consiste de un tubo vertical de gran diámetro que se sitúa desde la plataforma hasta el agua, el cual se sostiene o sujeta de una de las patas de la estructura. Fig 15.

Este tubo está abierto en el fondo y se sumerge en el agua hasta una profundidad de 3 a 5 m. por arriba del nivel que se espera alcancen los desechos descargados o sedimentos marinos.

FIG.14 SEPARADORES DE ACEITE USADOS EN PLATAFORMAS (1.6)

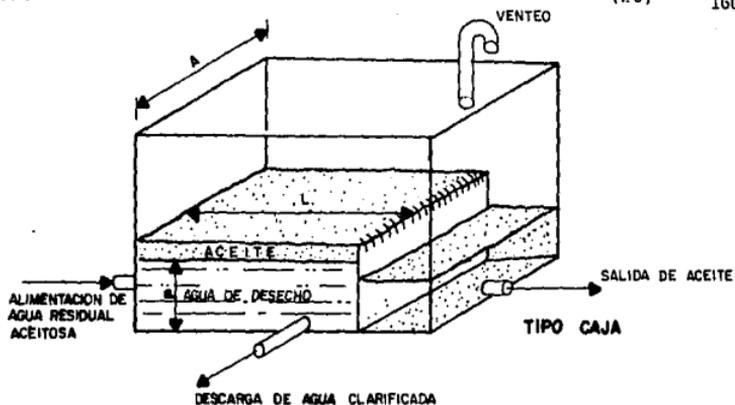
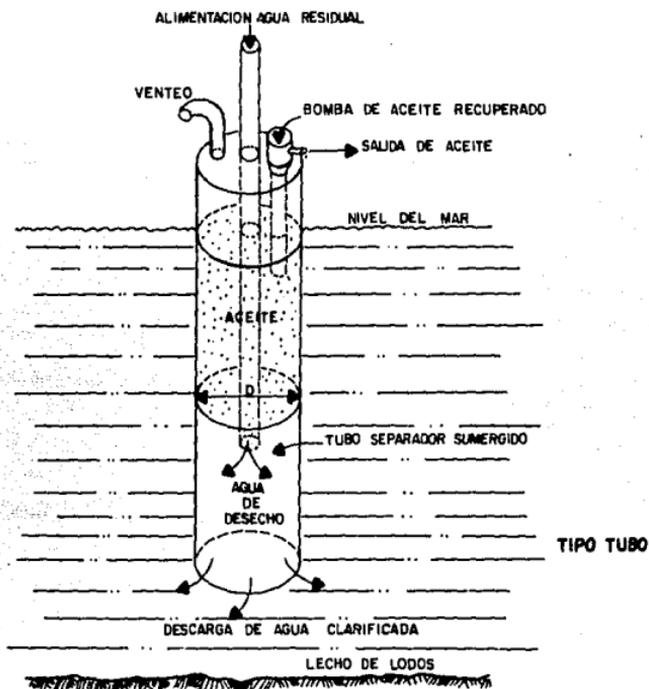


FIG.15



La parte superior del tubo es cerrada y no debe estar mas arriba del piso de la plataforma. En este extremo cuenta con un venteo, con un tubo de menor diámetro que se inserta verticalmente a lo largo de la coraza separadora hasta una profundidad de $2/3$ de la longitud total del separador.

El desecho aceitoso fluye por este pequeño tubo hasta el interior del tubo separador a una profundidad mayor a la del nivel del agua del mar.

Dentro del tubo sumergido el agua de desecho comienza a separar se del aceite que contiene, permitiendo a las gotas de aceite - flotar y acumularse en el espacio anular entre ambos tubos sin alcanzar el extremo inferior del tubo de menor diámetro.

El agua clarificada fluye al mar por el extremo inferior del tubo separador, el cual se encuentra abierto.

El aceite que se acumula en el espacio anular se bombea a almacenamiento antes de que la interfase agua-aceite alcance el extremo inferior del tubo delgado.

Posteriormente se permite acumular aceite nuevamente en el espacio anular y el proceso de separación se repite.

La ventaja principal de este sistema es que no se ocupa espacio en la plataforma. Además en aguas más profundas se puede almacenar una mayor cantidad de aceite.

Una seria desventaja es que no se tiene mucha capacidad de almacenamiento de agua de desecho.

Por otra parte, la corriente de agua que pasa por el extremo abierto del tubo separador debe tener 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 y causando con esto contaminación.

De aquí se deduce que no es posible usar diámetros de tubo mayores a 60 pulgadas y las capacidades de estos separadores de -- agua residual nunca debe exceder el rango de 60 a 100 gpm.

A menudo, los dos sistemas de separación mencionados se colocan en serie para lograr una mejor calidad en la separación de aceite.

Otro problema que se presenta es el relacionado al mantenimiento de la bomba de aceite recuperado, la cual no puede ser eléctrica ni colocarse muy cerca de la superficie del agua.

Además esta bomba maneja flujos muy bajos de aceite recuperado y tiene que vencer presiones de aproximadamente una columna de 30 m. de altura más la presión requerida para inyectar este -- aceite recuperado a la línea principal de aceite que abandona la plataforma, es decir, presiones de 7 a 10 kg/cm^2 .

Un punto importante es el relacionado con la velocidad de admisión del desecho al tubo separador, la cual no debe exceder -- 1 pie/seg. para evitar que interfiera con el proceso de separación debido a la turbulencia que puede causar.

Por último, cuando se tienen emulsiones estables, es necesario romperlas, ya sea mediante calentamiento (150 - 190°F) o bien por ajuste pH (3 con H_2SO_4 ó 9 con Na OH), dependiendo de la -- clase de emulsión.

V.14.1 METODO DE DIMENSIONAMIENTO EMPIRICO. (16)

Lo primero que se calcula es la velocidad de ascenso de la gota de aceite, haciendo uso de la ley de Stokes, fórmula(V5).

Para el recipiente tipo caja rectangular la velocidad horizontal del agua de desecho debe ser de 3 pie/min.

Además por economía, la relación de profundidad de agua (P) a ancho del tanque (A) debe ser aproximadamente de un medio (1/2).

Con esto tenemos:

$$A = 0.3 \sqrt{QW} \quad \dots (V.26)$$

$$p = 0.5 A \quad \dots (V.27)$$

A = Ancho del tanque, pies.

QW = Flujo de agua de desecho, gpm.

p = Profundidad del agua de desecho en el tanque, pies.

v_a = Velocidad de ascenso de las gotas de aceite, pies/min.

Si suponemos que el tiempo de ascenso de las gotas es igual al de su tiempo de viaje horizontal, la longitud del recipiente puede calcularse como:

$$L = 0.547 \sqrt{QW} / (v_a)^{1.2} \quad \dots (V.28)$$

L = Longitud del recipiente hasta la mampara, pies.

El tanque para recibir el aceite drenado debe diseñarse con un tiempo de residencia de 5 min.

Para el separador de tubo sumergido, el diámetro puede calcularse como sigue:

$$D = 5.0 \sqrt{\frac{QW}{v_a}} \quad \dots (V.29)$$

D = Diámetro del tubo en pulgadas.

El tubo pequeño para la descarga de agua de desecho dentro del tubo separador debe dimensionarse para una velocidad del fluido de 1 pie/seg o menos.

V.15 DISPOSITIVOS MECANICOS PARA LA RECUPERACION DEL ACEITE. (12), (19), (39)

Estos equipos con conocidos generalmente como desnatadores o "skimmers". De ellos existen unos 200 modelos propuestos y mas de 50 han sido descritos en detalle por sus fabricantes, pero de todo este número de equipos, escasamente una docena de ellos son los que han demostrado ser efectivos y se siguen utilizando en las labores de recuperación.

Los principios en los que estos equipos basan su capacidad de recolección de aceite son relativamente pocos, explotando principalmente las diferencias de comportamiento físico entre el aceite y el agua, como son, densidad, adhesión y absorción a un medio poroso. Estas diferencias y la combinación de ellas, han dado origen a los diseños básicos de los desnatadores que se usan en ríos, lagos, bahías, estuarios y mar abierto.

El conocimiento de cómo se comportan estos equipos durante la operación misma es difícil de obtener, por lo que los fabricantes proporcionan los datos de diseño y sus resultados de pruebas realizadas como "comportamiento alcanzable"

La experiencia ha enseñado que muchas veces, bajo condiciones reales de operación, debido a dificultades que a menudo se encuentran, es imposible igualar el comportamiento que tuvo el equipo para recuperación, durante su prueba piloto.

Factores a considerar.

1) Derrame del aceite.

Cuando se produce un derrame accidental, toma tiempo movilizar equipo y recursos humanos así como organizar la forma de recuperar el producto derramado. Mientras esto pasa, el producto derramado no permanece estacionario, sino que se mueve, dispersa o absorbe en el suelo. En el caso de un río es aconsejable confinar el aceite y esperar a que se acumule una capa del mismo que tenga un espesor razonable antes de proceder a recuperarlo.

La confinación del aceite se logra mediante el uso de otros dispositivos llamados barreras, las cuales al flotar impiden el flujo de aceite, evitando que este se disperse por una gran superficie.

Lo anterior es difícil realizarlo en el mar debido a que en primer lugar no hay suficientes puntos de apoyo para el amarre de las barreras y en segundo lugar debido a los fuertes vientos y corrientes marinas que se presentan.

El comportamiento de un desnatador no depende de su capacidad de recolección, sino en la posibilidad de que el aceite pueda acercarse a la succión del equipo o bien a la movilidad del equipo en sí para operarse donde haya mayor cantidad de aceite para recuperar.

Otro aspecto importante se refiere a las propiedades físicas - del aceite que será colectado, tal como su viscosidad. En este caso los equipos que usen bandas para absorber aceite son mas efectivos para aceites ligeros, mientras que los desnatadores de disco son mas efectivos para crudos con viscosidades intermedias.

Dos factores mas a considerar son si el aceite esta emulsionado o está contaminado con dispersantes o con basura.

2) Condición del mar.

Un parámetro importante que influye en el comportamiento del -- equipo de recuperación de aceite es la altura de las olas.

Los equipos de disco tienen mayor tolerancia a la altura de las olas, que los equipos que operan por derrame o centrífugamente. Además ningún desnatador será efectivo si las olas rompen sobre él.

3) Diseño del Equipo.

Los datos de diseño y dimensiones del equipo definirán su capacidad de recolección de aceite en relación con alguna cantidad y tipo particular de aceite.

V.15.1 TIPOS DE EQUIPOS.

Para poder clasificar los equipos estos se dividen en grupos - según sus características para recuperación de aceite.

Grupo I. Equipos relacionados con la absorción del aceite a un medio sólido. Ej. discos de metal.

Grupo II. Equipos cuyo principio es la adhesión del aceite a bandas flexibles continuas que se colocan en la interfase aceite-agua.

Grupo III. Dispositivos centrífugos que incrementan el efecto de la gravedad mediante un vórtice que hace que aumente - el espesor de la capa de aceite, de tal manera que este pueda succionarse.

Grupo IV. Equipos en los que el aceite es separado del agua mediante un vertedor donde se realiza una decantación.

Grupo V. Equipos que tienen la combinación de uno o más de los otros principios.

Al Grupo I pertenecen equipos tales como:

- VIKOMA

Capacidad de recuperación 100 ton/hr.
aceite de media viscosidad, puede recuperar emulsiones, opera a profundidad mayor de 2 metros.

- KOMARA

Similar al Vikoma, pero mas pequeño
Profundidad de operación 8 pulg. ca
pacidad recuperación 10 ton/hr.

GRUPO II

- OIL MOP

Recupera por medio de una banda --
oleofílica aceites ligeros y de me-
dia viscosidad.

GRUPO III

- CYCLONET

Dispositivo a base de 2 ciclones,
el cual separa en su interior el -
aceite y lo descarga por su parte
superior, drenando el agua por el
fondo. Solo opera en aguas tranqui-
las, puesto que si no es así recupe-
ra mucha agua y poco aceite.

GRUPO IV

- MEGATOR

Especie de embudo montado en flota-
dores que mantiene el borde del mis-
mo en la interfase agua-aceite para
formar un vertedor.
Recomendable para aguas tranquilas.

GRUPO V

- SIRENNE

Combinación de Barrera y vertedor en
el equipo llamado Barrera Recuperado-
ra.

Para ilustrar lo expuesto sobre equipos de recuperación de aceite, se incluye la tabla VIII y las Figuras 16 a 19 en las que se muestran las características de algunos de estos equipos utilizados en México, específicamente por la Gerencia de Protección Ambiental de Petróleos Mexicanos para recolección de aceite que se derrama en los diversos accidentes que se atienden.

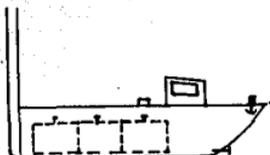
TABLA VIII

CAPACIDAD NOMINAL DE RECUPERACION DE ACEITE
DE ALGUNOS EQUIPOS COMERCIALES

DESNATADOR MINI SKIM JET	24	Bl/h
OIL MOP M-II	100	" "
OIL MOP M-IV	400	" "
SIRENE 20	1,200	" "
DESNATADOR ACME	320	" "
UNID. PRES - VACIO	180	" "
FRAMO	2,400	" "
CICLONET 050	72	" "
CATAMARAN	250	" "
LANCHA GABBIANO	252	" "
VIKOMA	1,200	" "
WALOSEP	840	" "
CLEAN SWEEP 250	17	" "
CICLONET 150	150	" "

Fuente: PEMEX. Gerencia de Protección Ambiental. 1982.

FIG.16 EQUIPOS RECOLECTORES DE ACEITE (50)



LANCHA GABBIANO

Embarcación para recolección de aceite con una capacidad de diseño de 252 Bl/hr. Util dentro de bahías y estuarios.

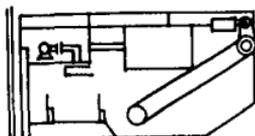
Se puede utilizar además para:

Dispersión

Contra Incendio

Recolección de Sólidos

NOTA : No puede navegar en mar abierto con mal tiempo.



BARCO JBF

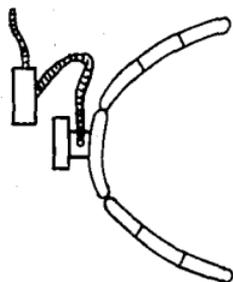
Es un equipo recolector de aceite con una capacidad de 570 Bl/hr.

El porcentaje de agua en el aceite recuperado es de menos del 1 %.

Este equipo trabaja con una banda oleoflica que se mueve a razón de 1.83 m/seg.

Tiene un promedio de operación a toda potencia de 13 horas trabajando con una altura de olas hasta de 0.9 metros.

FIG.17 EQUIPOS RECOLECTORES DE ACEITE (50)



SIRENE 20

Equipo recolector de aceite de 1200 Bl/hr. de capacidad de diseño. Su principio de operación se basa en el uso de una barrera flotante, con unidades de bombeo y compresor acoplados, para la recolección del aceite.



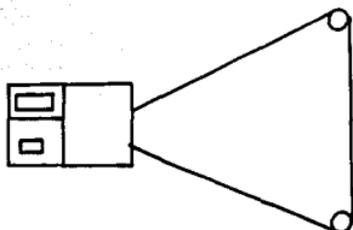
CATAMARAN

Este equipo recolector de aceite es una embarcación que tiene una capacidad de diseño de 350 Bl/hr.

La recolección se realiza por medio de bandas oleofílicas móviles, cuyo movimiento se produce en el sentido opuesto al de la embarcación.

Las bandas pasan entre rodillos donde se exprimen y el aceite recolectado se almacena en tanques.

FIG. 18 EQUIPOS RECOLECTORES DE ACEITE (50)

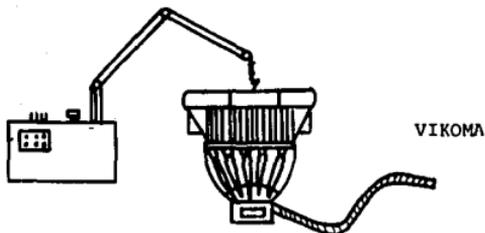


EQUIPOS OIL MOP

Equipos recuperadores de aceite cuyo principio de operación está basado en una banda oleoflica que es exprimida por -- dos rodillos.

La capacidad de estos equipos depende de su modelo.

	Capacidad Máxima Bl/hr	Capacidad Media Bl/hr
Mark II-9 :	100	40
Mark IV-16DP :	400	120

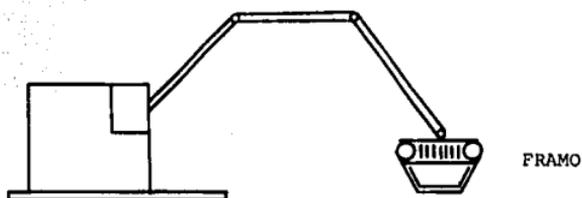


Este equipo recolector de aceite tiene una capacidad de diseño de 1,200 Bl/hr.

Es un desnatador que trabaja bajo el principio de discos oleoflicos sumergidos en el aceite.

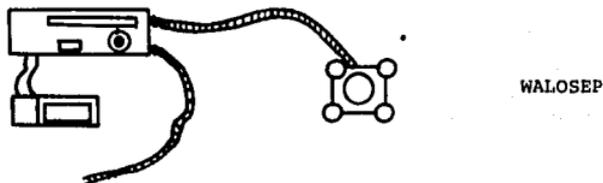
La disposición de los discos permite la recolección de aceite en forma radial. El aceite recolectado en el recipiente se bombea con una bomba centrífuga accionada por un motor hidráulico, hacia almacenamiento. Este equipo posee una válvula de control que le permite mantenerse sumergido a una profundidad fija.

FIG. 19 EQUIPOS RECOLECTORES DE ACEITE (50)



Equipo recolector de aceite con una capacidad de diseño de 2,400 Bl/hr.

Su principio de operación se basa en la recolección por medio de un desnatador constituido por discos oleofílicos y unidad de bombeo. Está equipado con un sistema hidráulico para el manejo, colocación y operación de recolección.



Equipo desnatador ciclónico con bomba de tornillo y tanque de vacío. Tiene una capacidad de diseño para recuperación de aceite de 840 Bl/hr. Este equipo puede funcionar también como unidad de vacío conectando la manguera de succión en forma directa. Puede descargar el aceite recuperado directamente a tanques de almacenamiento.

C A P I T U L O V I

EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE SEPARACION
UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA MEXICANA PARA PREVE-
NIR LA CONTAMINACION POR AGUAS ACEITOSAS.

VI EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE SEPARACION UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA MEXICANA PARA PREVENIR LA CONTAMINACION POR AGUAS ACEITOSAS.

VI.1. COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO

Los sistemas de tratamiento para eliminar aceite de salmuera generalmente caen dentro de las siguientes categorías:

- Presas.
- Tanques.
- Sistemas de Flotación.
- Coalescedores de Placas.
- Coalescedores de Medio Fibroso.
- Coalescedores de Medio Granulado.

Y los aspectos más importantes a analizar para conocer el comportamiento de un sistema de tratamiento como se muestra en la tabla IX, son:

- 1) Comportamiento promedio.
- 2) Variabilidad.
- 3) Operabilidad.

Si se analiza el comportamiento promedio para un cierto tipo de sistema de tratamiento se pueden obtener resultados erróneos si solo se estudia una sola descarga con un tipo específico de salmuera. Para llegar a un análisis co

recto se deben observar diversos factores de diseño, con salmueras de diferentes características y en diferentes localizaciones.

Todos los procesos de tratamiento que se deben analizar - dependen de la separación física de las gotas de aceite - en la salmuera (características físicas).

Para poder centrar nuestros razonamientos acerca de la utilidad o aplicación de un sistema para el tratamiento de una determinada descarga, debemos definir los tres términos siguientes:

- EFECTIVIDAD. Porcentaje de aceite separable en el flujo que es eliminado por el separador.
- EFICIENCIA. Relación de la efectividad del separador - actual a la efectividad de un separador ideal operando con el mismo flujo y tipo de desecho.
- RELACION DE ELIMINACION. Porcentaje de aceite en el flujo de agua residual que se elimina en el separador.

Teniendo estos conceptos claros procederemos a discutir - cada uno de los sistemas de tratamiento de uso común en - la Industria Petrolera Mexicana.

La variación en la eliminación de aceite para un sistema de tratamiento dado, puede relacionarse a dos factores -- principales:

1. Cambios en las características de la descarga tales como: grado de emulsión, tamaño de las gotas de aceite, tipo de aceite, características del contenido de arcillas y arenas y tipo de pozo. Esto significa que si se instalan sistemas de tratamiento idénticos en dos descargas con características diferentes, las concentraciones de aceite en el efluente del tratamiento serán muy diferentes.
2. Las variaciones que se presentan día con día en las características de un efluente se deben a fluctuaciones en flujo, cambios en concentración de aceite en el influente, diferente temperatura y condiciones climatológicas y condiciones del equipo de tratamiento.

Por lo general, se ha observado que los coalescedores de medio granulado (filtros) y las unidades de flotación producen efluentes con las concentraciones medias de aceite más bajas. El proceso de flotación, es por lo tanto el más adecuado para aplicarse al tratamiento de salmueras a ceitosas.

Los filtros coalescedores con medio granulado no han sido ampliamente adoptados para este tratamiento debido a los problemas de operación que presentan, relacionados con la retención de sólidos suspendidos de las corrientes de de-

TABLA IX RESUMEN DEL COMPORTAMIENTO DE SISTEMAS
DE TRATAMIENTO PARA SALMUERAS ACEITOSAS.

TIPO DE PROCESO	NO. DE UNIDADES ESTUDIADAS PARA ESTABLECER PROMEDIOS (1)	CONCENTRACIONES PROMEDIO DE ACEITE EN EL EFLUENTE (ppm)	CONCENTRACION DE ACEITE AL- CANZABLE EL 98% DEL TIEMPO (ppm)	NOTAS
Presas	55	35.4	140	Requiere de grandes areas disponibles
Tanques	52	41.9	155	Aplicación Variada
Sistemas de Flotación	19	33.5	100	Aplicación Variada
Coalescedores de Placas	21	56.8	200	Requiere limpieza periódica de sólidos
Coalescedores de Medio Fibroso	6	42.0	180	Reemplazamiento periódico del filtro (cartucho). -- Problemas operacionales de disposición del agua de -- retrolavado.

TABLA IX CONTINUACION

TIPO DE PROCESO	NO. DE UNIDADES ESTUDIADAS PARA ESTABLECER PROMEDIOS (1)	CONCENTRACIONES PROMEDIO DE ACEITE EN EL EFLUENTE (ppm)	CONCENTRACION DE ACEITE AL- CANZABLE EL 98% DEL TIEMPO (ppm)	NOTAS
Coalescedores de Medio Granulado o Suelto	13	21,8	60	Problemas operacionales de disposición del agua de re- trolavado. Requiere de tan- ques de igualación y de ins- talación sofisticada.

(1) Disponibilidad de 10 observaciones de efluente mínima por unidad.

Fuente: (22)

secho. Por esto es necesario retrolavarlos frecuentemente y la disposición final del agua utilizada para esta operación, la cual contiene gran cantidad de sólidos suspendidos es un problema de gran magnitud. Además de esto requieren de tanques para igualación del influente, así como instrumentación muy sofisticada, que es difícil de instalar en áreas remotas.

VI.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LASTRE DE BUQUES-TANQUE (36) (43)

En la industria petrolera mexicana es práctica común utilizar en las Terminales Marítimas, sistemas de tratamiento para estas aguas, constituidos por las siguientes instalaciones:

Fosa de retención y

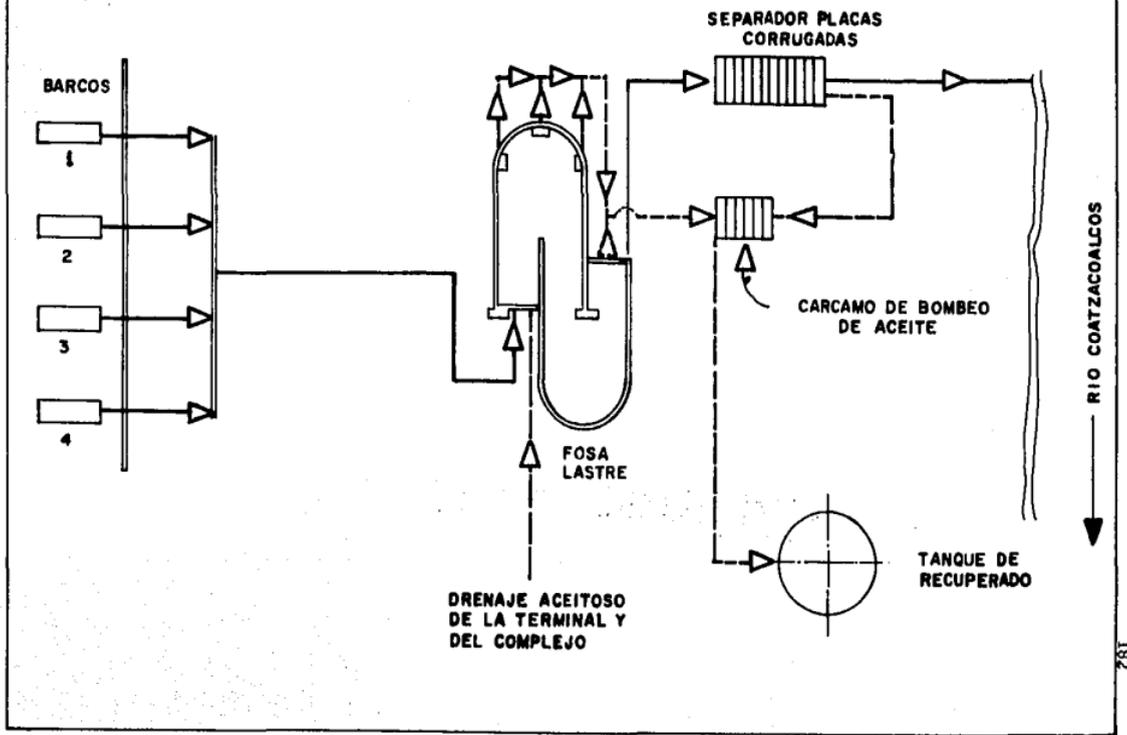
Separador de placas corrugadas

de donde se descarga el agua al cuerpo receptor.

Instalaciones de este tipo se encuentran en la Terminal Marítima de Pajaritos Veracruz, y en Salina Cruz, Oaxaca, como se muestra en la figura 20 .

El efluente que se obtiene de los separadores de placas corrugadas contiene aproximadamente 20 ppm de aceite, lo cual es aceptable según el reglamento de descarga de aguas residuales en vigor.

FIG. 20 SISTEMA PARA RECIBIR AGUA DE LASTRE DE BUQUES PETROLEROS (43)



Existen diversos trenes de tratamiento primario de aguas de lastre, en función de la disponibilidad de terreno, - instalaciones y costo.

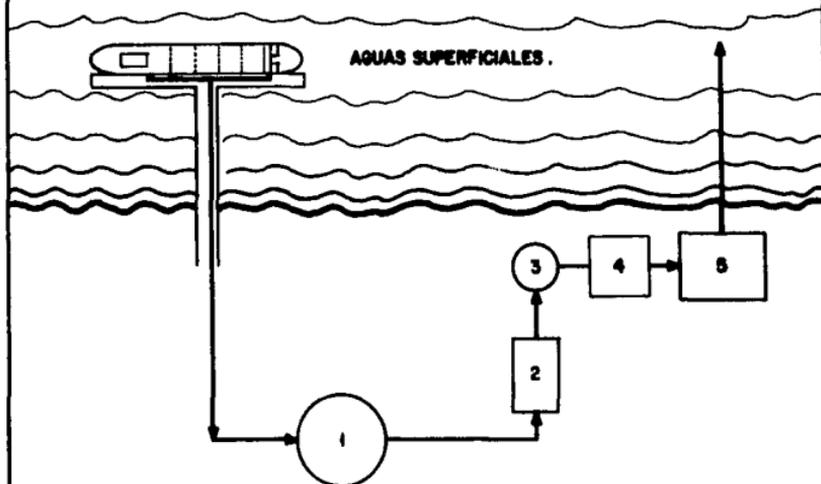
Estos tratamientos consisten de las siguientes etapas, - como se muestra en la figura 21 y que son:

- Tanque de recibo.
- Separador de aceite-agua tipo API o placas corrugadas.
- Tanque de floculación.
- Filtro de arena.
- Adsorción de carbón activado.

El efluente esperado posee las siguientes características:

	% de Eliminación	Concentración del efluente ppm
Grasas y Aceites	95-99	2-10
DBO	80-95	20
DQO	80-90	60
Sólidos en Suspensión	80-99	10
Fenoles	98-100	0.02

FIGURA No. 21

TREN DE TRATAMIENTO PARA AGUAS DE DESLASTRE. (43)

- 1 TANQUE DE RECIBO.
- 2 SEPARADOR "API".
- 3 FLOCULACION.
- 4 FILTRO DE ARENA.
- 5 CARBON ACTIVADO.

VI.3 COMPORTAMIENTO DE SEPARADORES

La eficiencia de un separador está en función de muchas variables de operación y de diseño. De estas tal vez - las más importantes sean el flujo y la concentración de aceite en el agua residual. (Figura 22).

Los separadores deben de estar protegidos hidráulicamente para prevenir su inundación en periodos de alto flujo para lo cual se usan líneas de derivación y vertederos de demasías.

El comportamiento de la eficiencia de eliminación de - aceite en función de la concentración presente del mismo en el influente se muestra en la tabla X.

VI.3.1 SEPARADORES API

No existen publicaciones en las cuales se presente el - comportamiento típico de los separadores API, sino que esos datos únicamente pueden conocerse al revisar la - operación de este equipo dentro de la industria petrolera.

Para poder analizar de una manera completa y aceptable el comportamiento de un separador API, se debe recalcar, durante un período de tiempo que se estime conveniente, según las características particulares de operación, la

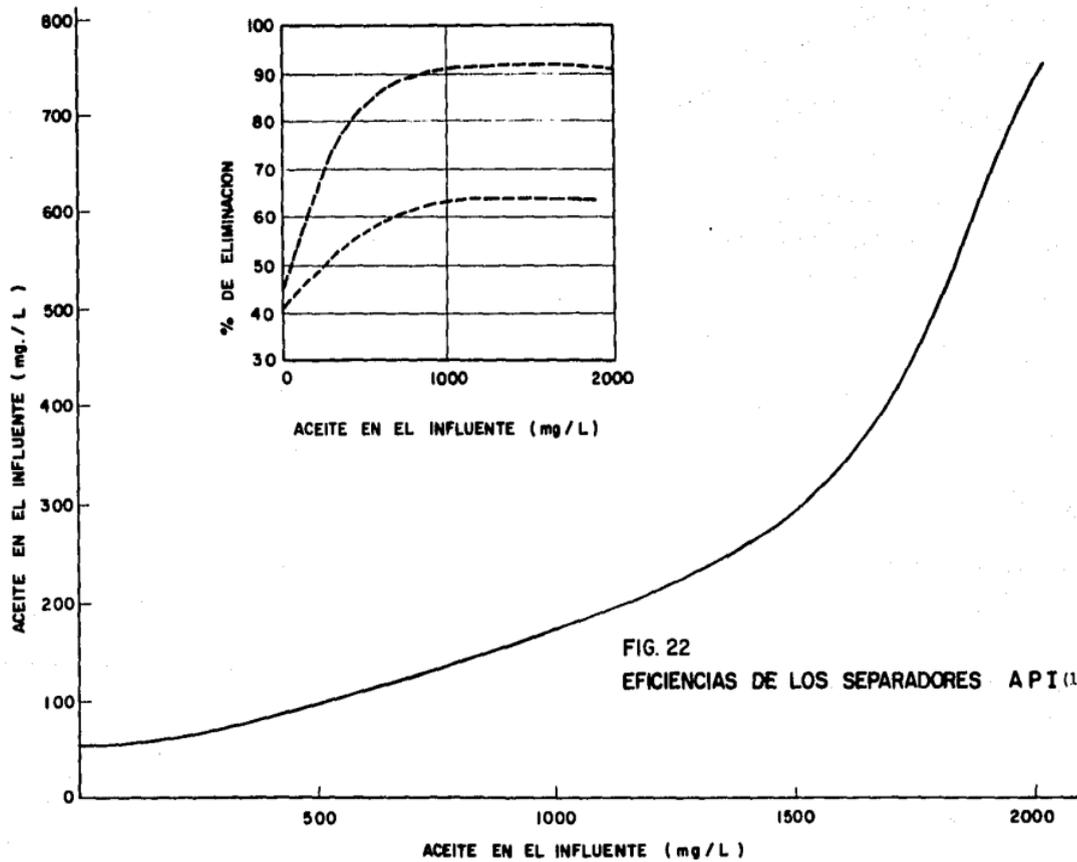


FIG. 22
 EFICIENCIAS DE LOS SEPARADORES API ⁽¹¹⁾

TABLA X EFICIENCIAS TÍPICAS DE UNIDADES (11)
 DE SEPARACION DE ACEITE.

CONTENIDO DE ACEITE		ACEITE ELIMINADO %	TIPO DE SEPARADOR	DQO ELIMINADO %	SOLIDOS SUSPENDIDOS ELIMINADOS %
INFLUENTE (mg/l)	EFLUENTE (mg/l)				
300	40	87	Placas Paralelas	--	--
220	49	78	API	45	--
108	20	82	Circular	--	--
108	50	54	Circular	16	--
98	44	55	API	--	--
100	40	60	API	--	--
42	20	52	API	--	--
2000	746	63	API	22	33
1250	170	87	API	--	68
1400	270	81	API	--	35

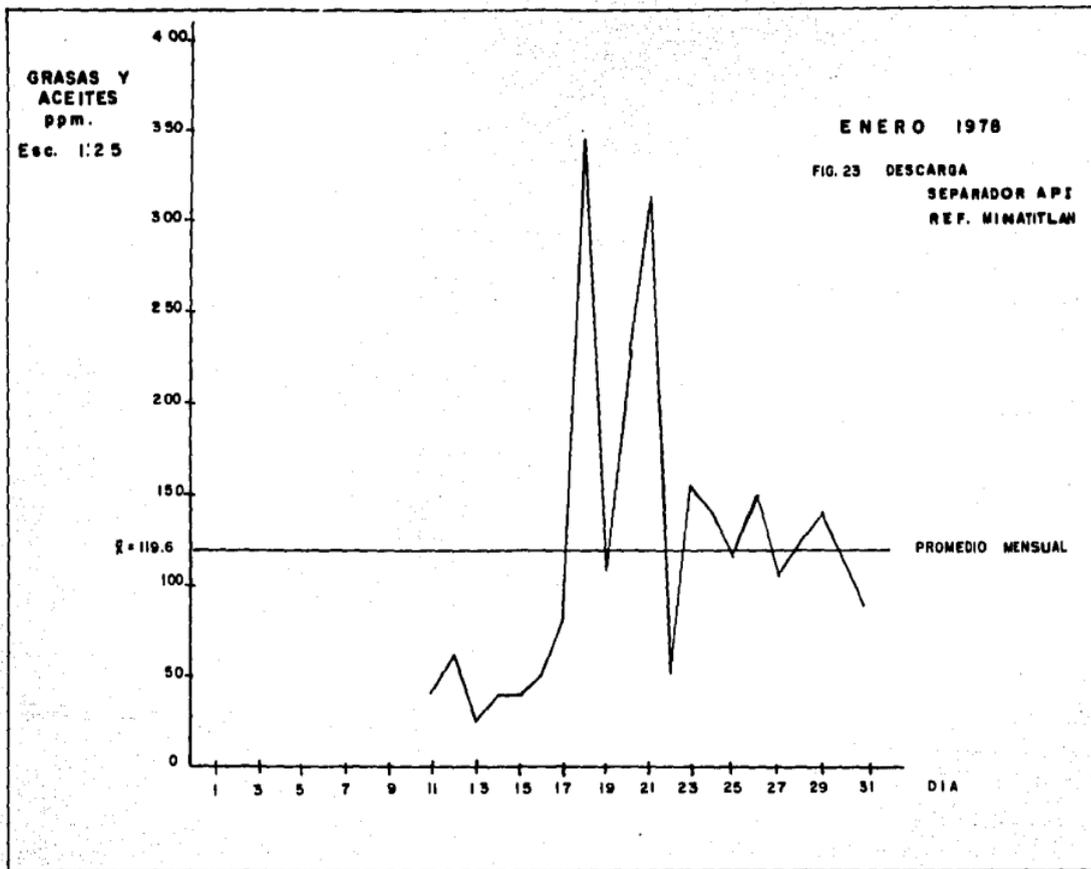
- 1) Bases de diseño del separador.
- 2) Hacer comparaciones entre el flujo de operación y el flujo de diseño.
- 3) Tomar registros del contenido de aceite y sólidos suspendidos en el influente y en el efluente.
- 4) Considerar la densidad relativa del aceite a eliminar.
- 5) Temperatura de operación.
- 6) Densidad relativa del agua descargada.
- 7) Porcentaje de aceite en el influente que es susceptible de separar.

En la Tabla XI que a continuación se presenta, se muestran algunos datos de eliminación de aceite en este tipo de separadores.

TABLA XI ELIMINACION DE ACEITE EN SEPARADORES API.

Contenido de Aceite		
Influente	Efluente	% Eliminación
50-100	20-40	60
90-98	40-44	55
42	20	52

Asimismo se muestra en las figuras 23 a 26 la cantidad de aceite que se obtiene en la descarga del separador API de Minatitlán (6500 GPM de Agua Residual) según datos de 1978.

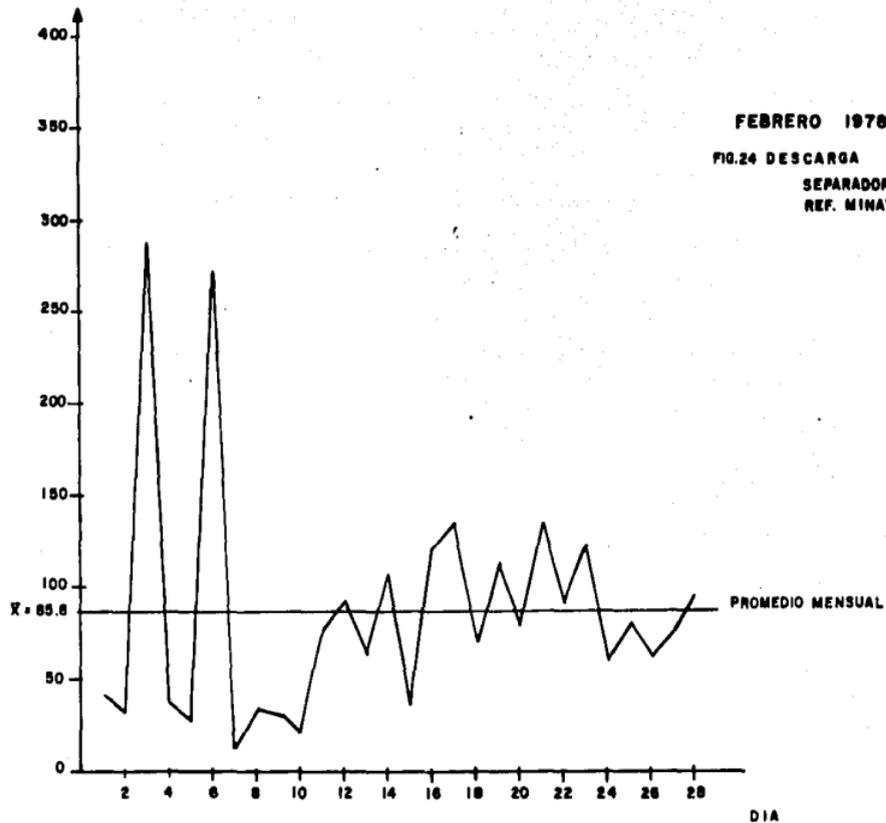


GRASAS Y
ACEITES
PPM
Esc. 1:25

FEBRERO 1978

FIG.24 DESCARGA

SEPARADOR API
REF. MINATITLAN



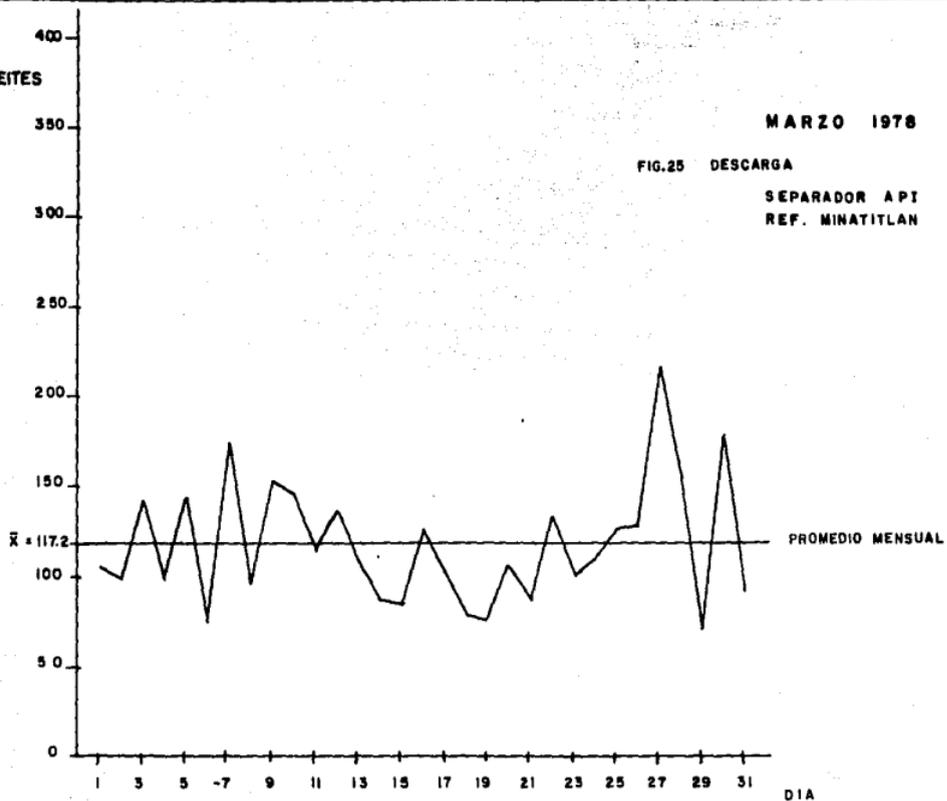
GRASAS Y ACEITES
ppm

Esc. 1: 25

MARZO 1978

FIG.25 DESCARGA

SEPARADOR API
REF. MINATITLAN



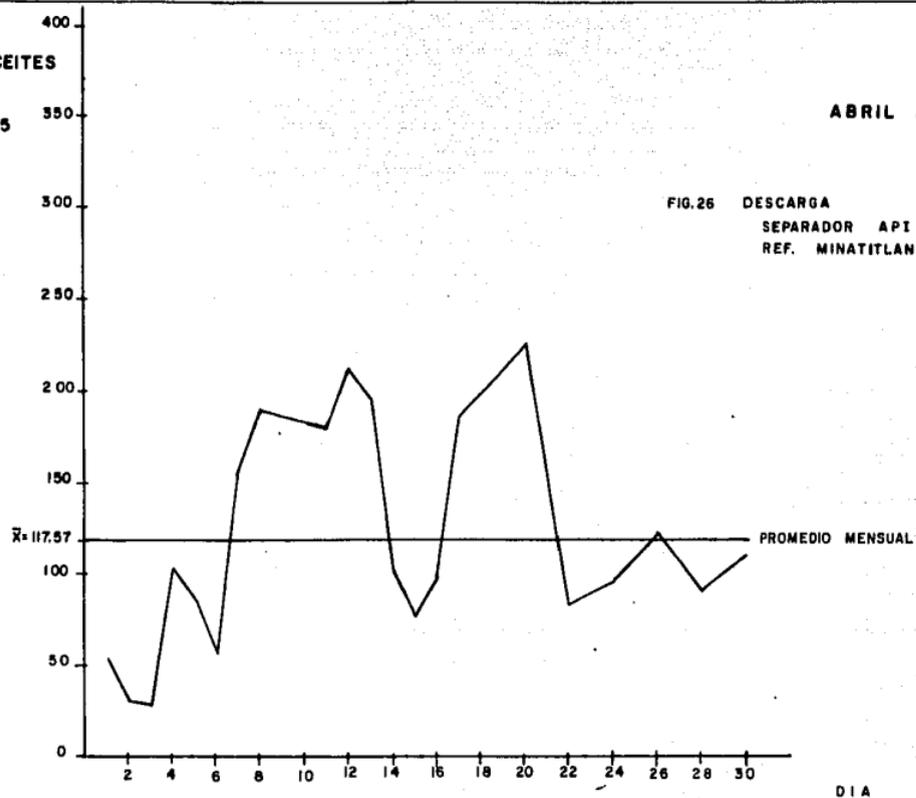
GRASAS Y ACEITES

ppm

Esc. 1:25

ABRIL 1978

FIG. 26 DESCARGA
SEPARADOR API
REF. MINATITLAN



VI.3.2 SEPARADORES DE PLACAS CORRUGADAS

Este es uno de los adelantos que se tienen para lograr la eliminación de aceite libre de una corriente de agua de desecho. Consiste de una serie de módulos de placas corrugadas, los cuales se instalan en un ángulo de 45°, permitiendo con eso aumentar el tiempo de residencia que el agua residual requiere permanecer en el separador.

El aceite se aglomera formando gotitas de mayor tamaño, las cuales alcanzan la superficie y son entonces desnatadas.

Similarmente se permite a toda la materia sedimentable asentarse sobre las placas corrugadas, con lo que se van deslizando poco a poco al fondo del módulo, donde pueden ser eliminadas. Ver figura 27 .

A continuación se muestran los datos de eliminación de a ceite en un separador de placas corrugadas.

TABLA XII ELIMINACION DE ACEITE . SEPARADOR DE PLACAS CORRUGADAS.

Flujo de Agua Aceitosa GPH	Aceite en el Influente (mg/l)	Aceite en el Efluente (mg/l)	% Eliminado
8000	150	50	67
8000	375	66	82

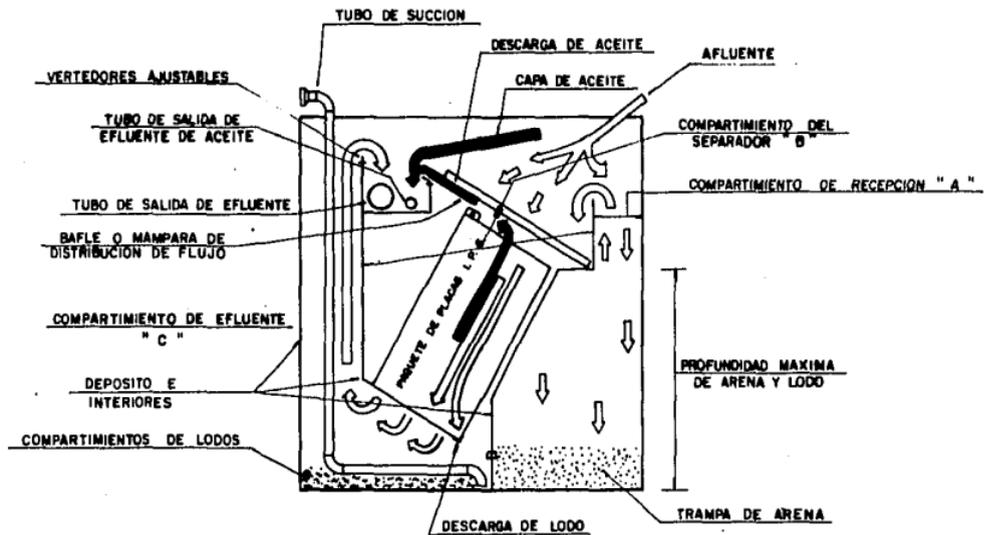


FIG.27 DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL SEPARADOR DE PLACAS CORRUGADAS (37)

Flujo de Agua Aceitosa GPH	Aceite en el Influyente (mg/l)	Aceite en el Efluente (mg/l)	% Eliminado
8000	500	86	83
16000	500	178	65
18600	500	190	62
18600	570	185	67
18600	700	330	53

Como se puede observar en esta tabla y en las dos gráficas que a continuación se muestran, la eficiencia de eliminación de aceite y sólidos suspendidos en los separadores de placas corrugadas depende del flujo de agua residual y de la concentración de dichas sustancias en el de secho. (Figuras 28 y 29).

Estos equipos o separadores de placas corrugadas pueden usarse a continuación de un separador API existente con el fin de reducir los niveles de concentración de aceite que se obtienen por una separación por gravedad o bien instalarse en paralelo para reducir la carga hidráulica y mejorando la capacidad de eliminación de aceite del sistema.

Asimismo suelen emplearse sistemas combinados de separadores de placas corrugadas y máquinas de flotación de aire disuelto, obteniéndose resultados muy satisfactorios de eliminación de contaminantes, como se muestra con-

FIG. 28 VARIACION DE LA EFICIENCIA CON RESPECTO AL FLUJO (11)

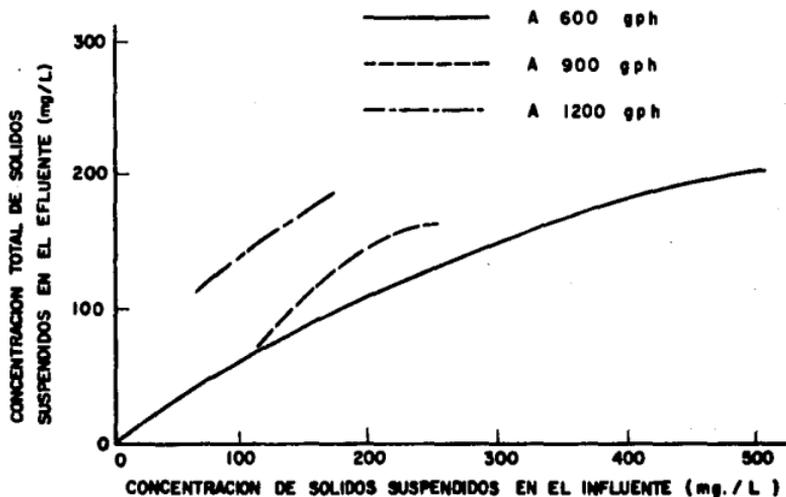


FIG. 29

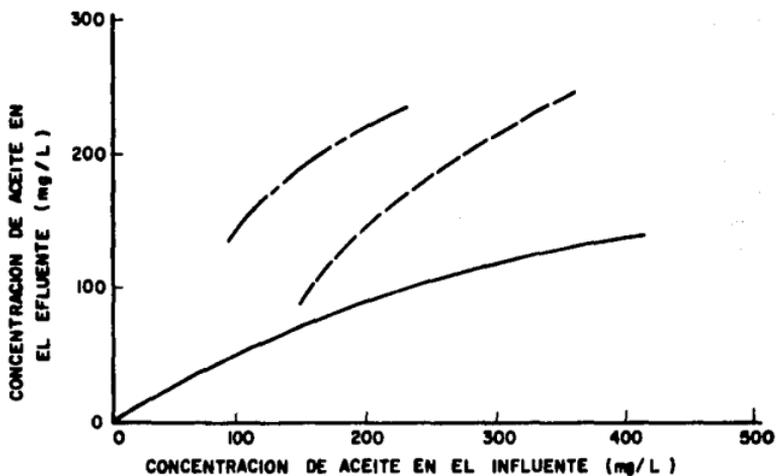


TABLA XIII

COMPORTAMIENTO DE SEPARADORES API

Q m ³ /hr	Ci ppm	Cf ppm	pH	T °C	S.S ml/l
165	2050	90	7.6	10	-
165	1983	88	8	10	-
165	2300	122	7.8	9	-
165	1720	150	7.2	10	0.2
165	2003	84	8	10	-

TABLA XIV

COMPORTAMIENTO DE
SEPARADORES DE PLACAS CORRUGADAS

Q m ³ /hr	Ci ppm	Cf ppm	pH	T °C	S.S ml/l
165	2320	18	7.9	25	-
165	2009	24	7.9	12	-
165	1820	22	8	12	-
165	2223	8	8	10	-
165	1958	39	8	10	-

Q = Gasto

Ci = Concentración Inicial

Cf = Concentración Final.

pH = Potencial Hidrógeno

T = Temperatura

S.S= Sólidos Suspendidos

TABLA XV

COMPORTAMIENTO DE
SEPARADORES DE PLACAS CORRUGADAS

Ci ppm	Cf ppm	% Aceite Eliminado	Capacidad m ³ /hr.
475	4.8	94.0	30
447	4.3	99.5	30
321	3.4	99.0	30
436	4.1	99.0	30
1868	4.8	99.8	25
1385	7.0	99.5	25
2225	5.4	99.75	25
1347	3.0	99.75	25
1180	5.2	99.45	20
492	2.6	99.46	20

FIG.30 COMPARACION DE EFICIENCIAS DE SEPARADORES (11)

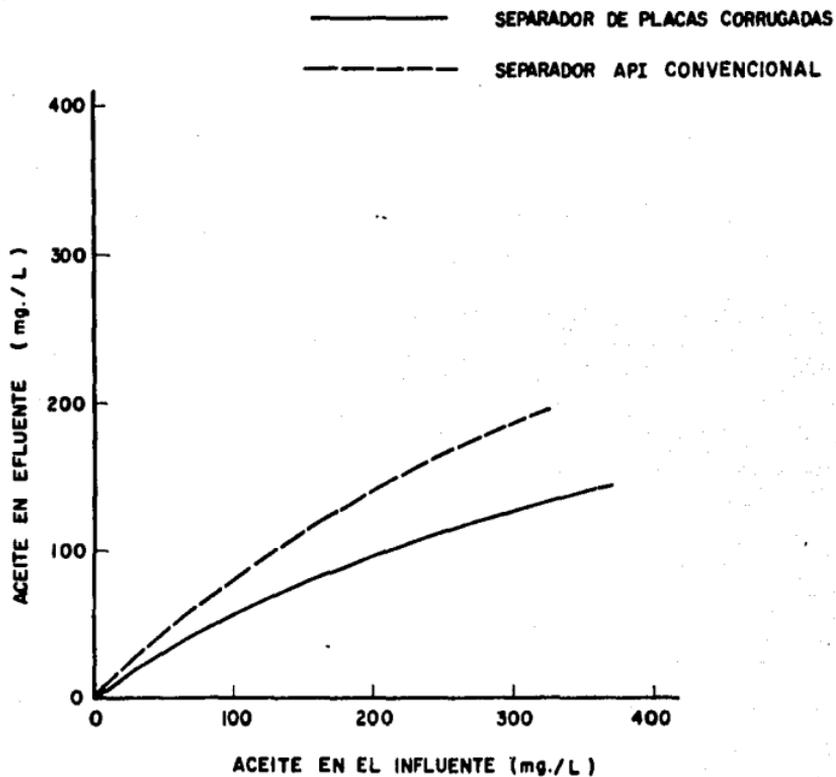


TABLA XVI (50)

EFICIENCIAS TÍPICAS DE ELIMINACION
DE CONTAMINANTES EN LOS TRATAMIENTOS EMPLEADOS
EN LA REFINERIA DE SALINA CRUZ, OAX.

TRATAMIENTO	DBO ₅	DQO	SS	ACEITE	FENOL
SEPARADOR DE PLACAS CORRUGADAS	5-40	5-30	10-50	60-99	0-50
FLOTACION POR AIRE DISUELTO	20-70	10-60	50-85	70-85	10-75

TABLA XVII

EFICIENCIAS DE ELIMINACION DE GRASAS Y ACEITES
DEBIDA A LA ACCION DE LAS UNIDADES DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

	Q medio lps	G y A mg/l	Masa de G y A mg/seg.	Masa eli- minada mg/seg.	Efic.de Elim.
Drenaje aceitoso antes de las mallas de retención	316	96120	30373920		
Efluente de separadores de placas corrugadas	252	52014	13107528	17266392	56.85
Influente a laguna de oxidación	189	38	7182	13100346	99.95
Centro de la laguna de oxidación	157.9	7	1105.1	6076.9	84.6
Efluente laguna de estabilización.	144	6	864.0	241.1	21.8

Datos: Refinería Salina Cruz, Oax. 1982. (50)

resultados de la Refinería de Salina Cruz, Oax.

Tablas XIII A XVII Y FIG. 30.

VI.4 FLOTACION POR AIRE DISUELTO

Este es un proceso comúnmente utilizado para mejorar la separación de aceite y de sólidos suspendidos en aguas de desecho de plantas petroquímicas y refinerías.

Por lo general, está precedido por un separador por gravedad, puesto que estos equipos se usan para alcanzar -- los niveles de concentración requerida de aceite antes -- de descargar el desecho. Si el aceite esta emulsionado, -- es necesario añadir algún agente químico coagulante con -- rápido mezclado en una cámara de floculación, con lo que se logrará el rompimiento de la emulsión y la separación de fases.

La eficiencia de sistemas de flotación en términos de eliminación de aceite es función de muchos factores, como son: flujo de diseño, tiempo de residencia, volumen de -- recirculación, nivel de presuración, relación aire-sólidos, tipo y cantidad de agentes químicos agregados y con -- centración y forma del aceite presente en el desecho.

Tabla XVIII y Figura 31.

DATOS DE COMPORTAMIENTO DE UNIDADES DE FLOTACION CON AIRE

Concentración de Aceite en el Influyente (mg/l)	Concentración de Aceite en el Efluente (mg/l)	% Eliminación	Adición de Reactivos*	Forma
1930	128	93	Si	Circular
580	68	88	"	"
170	52	70	No	"
125	30	71	Si	"
100	10	90	"	"
133	15	89	"	"
94	13	86	"	"
105	26	78	"	Rectangular
68	15	75	"	"
638	60	91	"	"
153	25	83	"	"
75	13	82	"	"
61	15	75	"	"
360	45	87	"	"
315	54	83	"	"

(*) Producto químico agregado Sulfato de Aluminio.

Dosis 100 a 130 mg/l.

Poliectrolito 1-5 mg/l ocasionalmente.

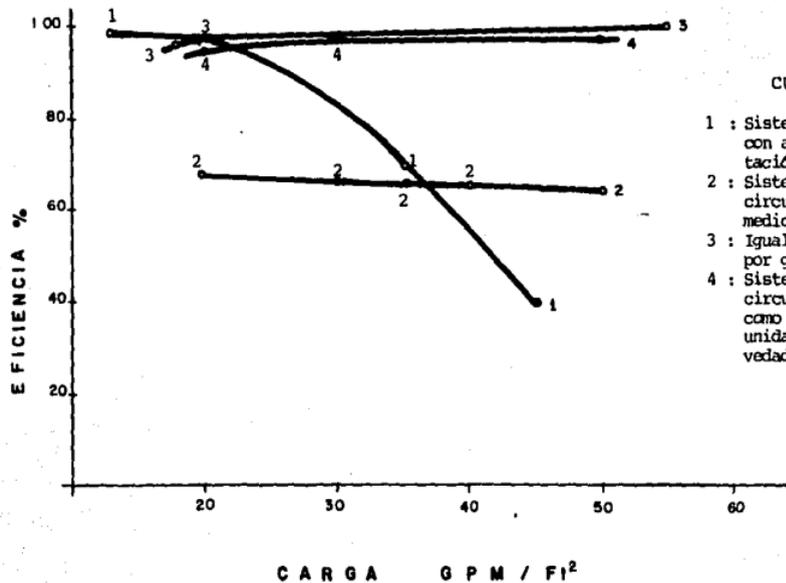


FIG.3I EFICIENCIA DE FLOTACION VS. CARGA HIDRAULICA (13)

VI.5 CONTRIBUCION DE UNA BUENA DIRECCION A LA SOLUCION DEL PROBLEMA DE CONTAMINACION POR DESECHOS ACEITOSOS.

La eliminación de la contaminación del agua es un problema muy grande y complejo, del cual los desechos aceitosos son tan solo una parte.

Los desechos aceitosos se forman con la contribución de productos del petróleo, los cuales podemos clasificar en dos grandes grupos: Lubricantes y Fluidos de Proceso.

Los primeros son productos de uso en maquinaria, automóviles y ferrocarriles con objeto de reducir la fricción entre partes mecánicas y los fluidos de proceso son productos que se obtienen como desechos en la industria como son aceites para apagado de metales, y materiales utilizados para disminución del calor o enfriamiento de máquinas.

Estos desechos aceitosos no son solamente una mezcla de agua con aceite, sino que muchas veces contienen sustancias alcalinas, sólidos metálicos y no metálicos, grasas, detergentes, emulsificantes, productos de oxidación y aditivos químicos.

Además la experiencia de conocer algunas plantas de tratamiento nos ha enseñado que en el procesamiento que se

da a estos desechos, se añaden a ellos papeles, trapos, - desechos de comida, plásticos y en muchas ocasiones desechos sanitarios.

La mezcla de tan grande variedad de productos hace que - verdaderamente sea una hazaña lograr el correcto y adecuado tratamiento de estas corrientes. Esto es, el tratamiento se vuelve tan complicado y costoso que se opta muchas veces por descargar los desechos a medio tratar o - sin tratamiento alguno, lo cual los convierte en una fuente de contaminación.

SOLUCIONES AL PROBLEMA

Dentro de la Industria de la Manufactura y de la Transportación puede hacerse mucho para reducir la contaminación, estableciendo una serie de políticas a seguir, como puede ser, el reuso de los lubricantes hasta donde -- sea posible.

Otro punto reelevante es que no se debe mezclar un aceite lubricante usado con agua ya que esto bloquea la posibilidad de tratarlo para su reuso y hará más complicado su tratamiento para desecharlo.

La dirección adecuada en un tratamiento de desechos pue-

de reducir de manera aceptable los costos del control de la contaminación, evitando que se hagan desperdicios o derroches innecesarios.

Es indudable que una operación económica del sistema de tratamiento es una responsabilidad y obligación de una buena Dirección.

Entre las actividades de la Dirección se cuentan las políticas para reducir los desechos, localizar las principales fuentes de los mismos y seleccionar el tratamiento adecuado.

Cuando se plantean adecuadamente los problemas de contaminación y se les busca la solución más atinada, los costos derivados de este control pueden ser recuperados de muchas maneras.

- 1.- Evitando el riesgo de tener que detener la operación de la planta por no tener el debido cumplimiento de las leyes de control de la contaminación.
- 2.- Reduciendo la cantidad de desechos que se producen, se reduce a su vez el volumen y costo del tratamiento.
- 3.- Recuperando y reusando los desechos aceitosos se puede lograr un ahorro en combustibles.

- 4.- El Reuso de agua tratada produce muchos ahorros en regiones en que ésta es escasa.
- 5.- El aceite residual recuperado tiene un valor económico en el mercado.

Para poder realizar ese tipo de economías, la dirección debe, entre otras cosas:

- 1.- Analizar la situación específica que se le presenta.
- 2.- Atacar el problema en todos sus niveles.
 - Reduciendo pérdidas de lubricantes.
 - Usando más cantidad de materiales no contaminantes.
 - Segregando correctamente los desechos en las primeras etapas en que se producen, estudiando las posibles formas de reutilizarlos.
 - Evitando derrames y pérdidas accidentales.
 - Planeando el uso de productos que simplifiquen la operación del tratamiento de los desechos.
 - Diseñando y operando eficientemente las instalaciones para el tratamiento de los desechos.
- 3.- Descargando los desechos, una vez que han sido tratados, en los lugares seleccionados para ese fin.

VI.6 SIMPLIFICACION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Un principio básico en el campo del control de la conta-

minación, es tratar los desechos lo más cerca posible de las fuentes que los generan. Esto permite manejar de manera más sencilla un volumen menor de desecho concentrado, lo cual es mucho mejor que manejar un volumen grande de desecho diluido.

Otra práctica muy aceptada es la de segregación de drenajes como se menciona en el capítulo del "Estado actual de la investigación de procesos de tratamiento para la Separación de Aceite", con objeto de evitar mezclas de contaminantes que produzcan compuestos, mediante reacciones colaterales, que sean más difíciles de separar o más tóxicos.

Es recomendable evitar la presencia de agentes tensoactivos como espumantes, aditivos, detergentes, dispersantes y sólidos que hagan más difícil la separación del aceite.

Por último se debe cuidar la condición de tener un pH en el rango de neutralidad y una temperatura tal que se facilite la separación del aceite.

Reuniendo los factores mencionados es posible simplificar el sistema de tratamiento, haciéndolo más económico y efectivo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El muestreo y análisis de una corriente de agua residual es la etapa más importante del proceso de selección del sistema de tratamiento que se le desea aplicar, ya que de acuerdo a los resultados que se obtengan, dependerá esta selección y la conveniencia del proceso aplicado. - Esto se menciona aunque parezca obvio debido a que muchas veces se realizan mal, tanto los muestreos, como los análisis y se obtienen datos erróneos de la caracterización de un residuo. Por eso se debe realizar un muestreo estadísticamente representativo, así como análisis aprobados por las autoridades competentes con el fin de uniformizar criterios en lo que respecta a la caracterización de aguas residuales.
2. La aplicación de un proceso específico para el tratamiento de un desecho, debe hacerse en base a pruebas de campo y de laboratorio realizadas con el desecho en cuestión y nunca por similitud con la aplicación de un tratamiento a un desecho parecido, puesto que influyen factores - tanto químicos como climatológicos que pueden alterar totalmente la eficiencia del tratamiento propuesto, ya que es práctica común, adoptada por facilidad, el tomar datos obtenidos de la experimentación con desechos similares de plantas.

3. Es de gran importancia el conocimiento de cada uno de los procesos para eliminar aceite, puesto que cada uno de ellos ha sido diseñado tomando en cuenta la cantidad y características del aceite presente en el efluente, por lo que tienen cierto ámbito de aplicación.

4. Debe fomentarse la investigación en aspectos ecológicos de la contaminación por petróleo, tanto en aguas continentales como marinas, puesto que a la fecha no se conocen muchos de sus efectos en las diferentes especies de los litorales mexicanos, así como su proporción de biodegradabilidad de acuerdo a las características propias de las aguas costeras del país.

5. Se debe considerar seriamente el aspecto del control de la contaminación, de tal manera que al planear la construcción de algún tipo de planta dentro de la industria petrolera, una de las obras de mayor importancia sea la correspondiente al sistema de tratamiento de efluentes, con el propósito de que esta planta inicie su construcción y operación en forma paralela con las demás plantas de proceso, ya que muchas veces es práctica común que inicien su operación las plantas de proceso sin contar con las instalaciones de tratamiento terminadas.

6. Se debe incorporar el aspecto ambiental como un factor de toma de decisiones para la ejecución de un proyecto, de -

tal forma que teniendo un buen conocimiento de los ecosistemas, así como de los efectos reales que los diferentes tipos de contaminación puede causar a los mismos, sea posible dictar las medidas de mitigación adecuadas para producir el mínimo impacto y el máximo desarrollo y aprovechamiento de los recursos en aquellas zonas en donde se planea construir una nueva instalación.

7. Es conveniente concientizar al personal que opera los sistemas de tratamiento existentes en las diferentes instalaciones, de la importancia que reviste su actividad, tanto en el aspecto ecológico como en el económico y social, puesto que ya se ha visto que una actitud de imprudencia por parte de los operadores, carencia de conocimientos y/o falta de supervisión por parte de los encargados de esta labor, causa daños por contaminación al ambiente, en pocos casos irreversible pero siempre costosa para la industria y el país.

8. Es necesario crear algún procedimiento administrativo o legislativo que controle a los responsables de la industria, tanto pública como privada, a destinar parte de sus recursos, incluidos en su capital de trabajo o inversión inicial para proyectos de desarrollo, a una cuenta o partida presupuestal que incluya el costo de la obra del sistema de tratamiento de efluentes requerido para dicho proyecto, dando a esta partida presupuestal la característica

ca de ser intocable e intransferible a otras cuentas de erogaciones que pudieran originarse como consecuencia de ajustes o reducciones presupuestales.

9. Debido a los derrames involuntarios o en raras ocasiones inducidos de hidrocarburos al medio físico terrestre y acuático, se llegan a producir daños desde leves a severos a los diferentes habitats, fuentes de alimentación y a los organismos de la flora y fauna de esos ecosistemas. Obviamente, la severidad del daño depende de la magnitud de la descarga y de que ésta sea aislada o tenga cierta frecuencia. Sin embargo, algunas poblaciones de productores primarios son disminuidos por la acción de la película de aceite que se forma en la interfase agua-aire. Esta interferencia en la red trófica puede ser, con el tiempo, factor irreversible para el desarrollo de cierto tipo de vida superior y dañar directamente al hombre.

Es necesario entonces considerar prioritario el apoyo a la investigación en este campo y a la vez, dar pasos firmes en la prevención, más que en el control de derrames, principalmente cuando se trata de los cuerpos receptores litorales.

10. Aunado a los daños ecológicos que provoca el vertimiento de petróleo y subproductos, preocupa la pérdida económica

que éstos representan al país, ya sea visto a extensión nacional como internacional. Se requiere así la intervención de grupos interdisciplinarios que cuantifiquen estas pérdidas y justifiquen monetariamente la implantación de más y mejores equipos, técnicas y procesos, para la prevención y control de la contaminación en la industria petrolera.

11. Debe considerarse que las plantas de tratamiento de efluentes no son instalaciones que causan pérdidas de capital, - sino por el contrario son generadoras de beneficios económicos, así como de bienestar y salud dentro del área de - influencia de la descarga de los efluentes que controlan.
12. Es necesario desarrollar una planeación adecuada para resolver dos de los problemas básicos a los que frecuentemente se enfrenta la actividad de la prevención de la contaminación, que son el contar con equipos de relevo suficientes en los sistemas de tratamiento y desarrollar equipos de - recolección de aceite más prácticos y eficientes, con lo que se podrá atacar la contaminación desde su origen y - y dar una respuesta inmediata al control de los derrames en el momento de producirse.
13. Con este trabajo se logró recopilar un manual de información bastante completo acerca de los sistemas de tratamiento, en específico, aquellos de separación de aceite, presentando sus principales criterios de selección y dimen--

sionamiento, los cuales son un arma de decisión para la aplicación de un proceso de separación adecuado a un efluente - determinado.

14. En este tema (separación de aceite) no es sencillo desarrollar alguna nueva correlación o ecuación para el cálculo de sistemas de tratamiento, puesto que se requiere de una experimentación extensiva y de recursos tanto materiales como económicos con los que no se cuenta a corto plazo.

REFERENCIASBIBLIOGRAFICAS

- 1.- Custom Designs Cut Effluent Treating Costs.
Case Histories at Chevron, U.S.A. Inc.
B.T. Davies & R. W. Vose
Chevron Research Co., Richmond, California, 94802
- 2.- Marine Pollution by Oil.
Characterization of Pollutants, Sampling, Analysis and Interpretation.
Institute of Petroleum Oil Pollution Analysis Committee.
Applied Science Publishers Ltd. 1974
Institute of Petroleum, Great Britain.
- 3.- Environmental Problems Connected with Offshore Petroleum Exploration and Production Activities.
P. F. Barnaba, G. Dossena
Congreso Panamericano de Ingeniería del Petróleo.
México, Marzo de 1979.
- 4.- Aqueous Wastes from Petroleum and Petrochemical Plants.
M. R. Beychok
John Wiley & Sons, 1967, New York
- 5.- Manual on Disposal of Refinery Wastes.
Vol. I.- Waste Water Containing Oil
7a. Edición, 1963
American Petroleum Institute
- 6.- Aspectos Económicos y Ambientales de la Contaminación por las Aguas Residuales de Refinerías de Petróleo.
M. en I. Enrique Garduño Navarro. DEPTI, UNAM, 1981
- 7.- Petroleum Production and the Environment.
Society of Petroleum Engineers of AIME.
1975
- 8.- Environmental Aspects of Produced Waters from Oil and Gas Extraction Operations in Offshore and Coastal Waters.
C.B. Koons, C. D. McAuliffe, F. T. Weiss
JPT, Jun. 1977, 723-729

- 9.- Fate and Oil Effects on Marine Life.
A. H. Lasday, E. W. Mertens
JPT, Nov. 1976, 1285 - 1288
- 10.- Industrial Oily Waste Control
Wayne K. Mann, Henry B. Shortly, Robert M. Skallerup
American Petroleum Institute, American Society of Lubrication Engineers.
- 11.- Case Histories and Design Procedures
Refinery and Petrochemical Liquid Wastes.
Davis L. Ford, Engineering Science Inc., 1977
Austin, Texas.
- 12.- Removal of Oil from Water Surfaces.
H. J. Marcinowsky
Stichting Concawe, The Hague, Dic. 1970
- 13.- Design and Operation of Dissolved - Gas Flotation Equipment for the Treatment of Oilfield Produced Brines.
M. C. Sport. Journal of Petroleum Technology.
Ago. 1970, p. 918 - 920.
- 14.- Cuttings can Meet Offshore Environment Specifications.
John L. Kennedy. Oil and Gas Journal
Ago. 14, 1972, pp. 73-76
- 15.- Biodisk Improves Effluent - Water Treating Operation.
Gary E. Congram. Oil and Gas Journal
Feb. 23, 1976, Reprint Petroleum Publishing Co.
- 16.- How to Size Offshore Waste Water Separators.
Burton L. Thomas.
Reprint from World Oil, pp. 118 - 121
- 17.- The Petroleum Industry as it Affects Marine and Estuarine Ecology.
Lyle S. St. Amant, Journal of Petroleum Technology
Abr. 1972, pp. 385 - 392.
- 18.- A Study of the Disposal of Chemical Wastes at Sea.
Alfred C. Redfield & Lionel A. Walford
National Academy of Sciences. Washington, D.C. 1951

- 19.- The Control of Oil Pollution on the Sea and Inland Waters.
J. Wardley-Smith (Editor)
Graham & Trotman Ltd.
Reino Unido, 1976
- 20.- Marine Pollution: Functional Responses
W. B. Vernberg, pp. 3 - 21, 85 - 108
Academic Press, 1979
- 21.- Prevention of Offshore Pollution from Drilling Fluids.
Bobby S. Hayward, R. H. Williams and N. E. Methven
SPE 3579
- 22.- Best Practicable Control Technology Currently Available -
to Remove Oil from Produced Brine.
E. C. Sobesta & W. T. Winn, SPE 5042
- 23.- Removing Free Oil from Waste Streams.
Alan W. Toms
Processing, Feb. 1978, pp. 58 y 59.
- 24.- Review of U.S. Environmental Protection Agency Research
in Oil-Water Separation Technology.
Frank J. Freestone & Richard B. Tabakin
Conference on Prevention and Control of Oil Pollution
(1975) pp. 437 - 441.
- 25.- Marine and Estuarine Pollution.
D. J. Reish, T. J. Kawling, A. J. Mearns.
Journal WPCF, Vol. 47, No. 6, Jun. 1975, pp. 1617-1635.
- 26.- U.S. 3884803 Process for Separating Low API Gravity Oil
from Water.
May 20, 1975, V. Traylor
- 27.- U.S. 3554906 Extracting Oil Waste.
N. H. Wolf, Ene 12, 1971
- 28.- U.S. 3689406 Method for Separating Oils from Water.
Masanori Ohta, Sep. 5, 1972

- 29.- U.S. 3798158 Process for Removing Oil and Other Organic Contaminants from Water.
Clinton O. Bunn
Marzo 19, 1974
- 30.- U.S. 4151087 Oily Water Separator.
Jun Sakaguchi
Abr. 24, 1979
- 31.- Environmental Goals and Planning.
Jerome B. Gilbert
Spring Meeting of the Pacific Coast District
API, Los Angeles, Cal. May 13, 1970, pp. 19-26
- 32.- Microbial Interaction with Oil in the Marine Environment.
G. D. Floodgate, Discussion Paper 1974 (?)
- 33.- Deep-Well Injection.
T. J. Tofflemire, F.E. VanAlstyne
Journal WPCF, Vol. 45, No. 6, Jun. 1973, pp. 1103 - 1108
- 34.- Flotation of Oily Wastes
Ralph E. Quigley, E. L. Hoffman
Mobil Oil Co., 1965 (?) pp. 527-533
- 35.- Treatment of Oily Waste Waters to Meet Regulatory Standards.
J. L. Boyd, G. L. Shell, D. A. Dahlstrom
American Institute of Chemical Engineering, Conference,
Toledo, Ohio, Mar. 1971, pp. 393 - 401.
- 36.- Determination of Oil Concentration and Size Distribution
in Ship Ballast Waters.
F. E. Witmer, A. Gollan
Environmental Science & Technology
Vol. 7, No. 10, Oct. 1973, pp. 945 - 948
- 37.- Boletín Técnico No. 8001, ERC/LANCY,
Dart Environment and Services Company
3725 North Dunlap St., St. Paul, Minn. 55112
- 38.- Convenios Internacionales para Prevenir la Contaminación -
del Mar por Hidrocarburos.
M. A. García Lara, A. Rojas
Congreso Panamericano de Ingeniería Petrolera
México, Marzo 1979.

- 39.- El Mar. Prevención y Control de la Contaminación de los Mares.
Informe del Secretario General de la Organización de las Naciones Unidas.
51o. Período de Sesiones. E/5003, 7 mayo 1971.
- 40.- Legislación Relativa al Agua y su Contaminación.
SARH, México, 1976.
- 41.- Instructivo IR-2 para Llenar la Solicitud de Registro de Descarga de Agua Residual.
SARH-SSA-SMA, 1973
- 42.- Instructivo IPI.- Guía para la Elaboración del Informe Preliminar de Ingeniería.
SARH, 1973
- 43.- Manual de Tratamiento Primario de Aguas de Desecho.
PA-E-163. Oficina de Protección Ambiental.
Petróleos Mexicanos.
44. New Concepts in Water Purification.
G.Culp and R. Culp.
Edit. Van Nostrand Reinhold, 1974.
45. The Nalco Water Handbook
F. Kemmer.
Edit. Mc.-Graw Hill Book Co., 1979.
46. Principles of Industrial Water Treatment.
Drew Chemical Corp.
3a. Edición, 1979.
47. Manual Técnico del Agua
Degremont.
4a. Edición, 1979.
48. Informe de Actividades 1981
Gerencia de Protección Ambiental
Petróleos Mexicanos
49. Process Design Techniques for Industrial Waste Treatment.
Carl Adams & W. Eckenfelder
Aware Inc. Enviro Press Inc., 1974

50. Datos de Estudios Técnicos
Petróleos Mexicanos
Gerencia de Protección Ambiental.