

242102



24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

BIBLIOTECA INSTITUTO DE ECOLOGIA UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA

# DONACION

"TESIS DONADA POR LA BIBLIOTECA CENTRAL U.N.A.M. PARA USO EXCLUSIVO DE BIBLIOTECAS"

IMPACTO AMBIENTAL OCASIONADO AL PERFORAR POZOS PETROLEROS

# T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO PETROLERO PRESENTAN: MIGUEL ANGEL JIMENEZ GARCIA NOE GUTIERREZ MARTINEZ

ASESOR: M.I. JOSE MARTINEZ PEREZ



MEXICO, D.F.

1996

TESIS CON



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ENSEÑANZA  
EN CIENCIAS QUÍMICAS  
CARRERA DE QUÍMICA  
LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA  
CARRERA DE QUÍMICA  
LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-I-030

**SR. MIGUEL ANGEL JIMENEZ GARCIA**  
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el Ing. José Martínez Pérez y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Petrolero:


**IMPACTO AMBIENTAL OCASIONADO AL PERFORAR POZOS PETROLEROS**

- I INTRODUCCION
- II IMPACTO AMBIENTAL GENERADO AL PERFORAR EN AMBIENTES TERRESTRES Y MARINOS
- III ACTIVIDADES QUE GENERAN DESECHOS OPERANDO EQUIPOS DE POZOS PETROLEROS
- IV DESCRIPCION DE TECNOLOGIAS PARA EL CONTROL, MANEJO Y DISPOSICION DE LOS CONTAMINANTES
- V REGLAMENTOS Y NORMATIVIDAD DE PROTECCION AMBIENTAL
- VI PROCESOS DE SANEAMIENTO
- VII CONCLUSIONES  
BIBLIOGRAFIA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Ciudad Universitaria, a 3 de mayo de 1996  
EL DIRECTOR



ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS  
JMCS\*RELR\*gtg

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

FACULTAD DE INGENIERIA.

TEMA : IMPACTO AMBIENTAL OCASIONADO AL PERFORAR POZOS  
PETROLEROS.

REALIZADA POR:

GUTIERREZ MARTINEZ NOE 8440784-7

JIMENEZ GARCIA MIGUEL A. 8528243-6.

FIRMAS DE CONFORMIDAD DEL JURADO :

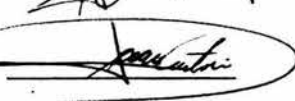
PRESIDENTE: ING. WALTER FRIEDEBERG MERZBACH.



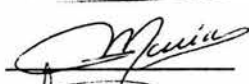
VOCAL: ING. JOSE MARTINEZ PEREZ



SECRETARIO: ING. JUAN A. MORALES DIAZ DE VIVAR



1ER. SUPTE.: ING. SALVADOR MACIAS HERRERA.



2DO. SUPTE.: ING. NESTOR MARTINEZ ROMERO.



CIUDAD UNIVERSITARIA.

OCTUBRE 96.

## **AGRADECIMIENTOS:**

*A DIOS GRACIAS POR LA VIDA*

*A MI PADRE: VALENTE JIMÉNEZ LOVERA.*

Quiero decirte que este trabajo es también obra tuya , por que en mis altibajos siempre me diste tu apoyo y trabajaste junto conmigo, eres un gran hombre, un gran padre y mi mejor amigo.

*A MI MADRE: ESTHER GARCÍA REYES.*

Jefecita esta obra corona tu esfuerzo, por darme aliento y compartir mis dificultades, gracias por tu amor y dedicación que no son de hoy, si no de toda tu vida.

**Los amo no importa donde este, siempre están conmigo**

*A MI ESPOSA:* **PATRICIA DEGOLLADO CONTRERAS.**

Paty gracias por tu amor y comprensión , se que elegi a una gran mujer.

siempre te amare.

*A MIS CARNALAS:*

Por su apoyo y su cariño , se que siempre confiaron en mi

**Lety**

**Quelo**

**Loly**

las quiero mucho.



*A MIS PADRINOS: ARTURO Y AURORA.*

Gracias por su ejemplo de amor y de lucha, en mi familia siempre tendrán un lugar especial.

*A MI AMIGO : NOÉ GUTIÉRREZ MARTÍNEZ.*

Se que este trabajo esta hecho con gran parte de tu esfuerzo, eres un gran compañero y amigo, cuenta siempre con mi aprecio y amistad.

# **AGRADECIMIENTOS**

A MI MADRE: **HERMINIA MARTINEZ VDA.DE GTZ..**

Esta obra es lograda gracias a su cariño ,esfuerzo, dedicación y comprensión que me brindo durante este largo camino recorrido.

La quiero y respeto mucho.

A MIS HERMANOS:

Doy gracias a cada uno de ustedes, ya que en las buenas y en las malas y de diferentes maneras me hicieron sentir su gran apoyo en mi vida.

**ALFONSO**

**LAURO**

**MARGARITA**

**CARLOS**

**CONSUELO**

**RAUL**

**RUPERTO**

Quiero que sepan que tienen todo mi respeto y cariño

A MI ESPOSA: **PATRICIA VAQUERO H.**

A quien tanto quiero, gracias por tu comprensión y cariño.

Te amare por siempre.

A MI HIJA: **ELIZABETH GUTIERREZ VAQUERO.**

Doy gracias a dios porque tu bien es a ser la persona que me impulsa a terminar este trabajo.

Te amo mi vida

A MI AMIGO: **MIGUEL A. JIMENEZ GARCIA**

Gracias por ser un excelente amigo ya que en las buenas y las malas siempre estas ahí.

*UN RECONOCIMIENTO PARA NUESTRA ALMA MATER:*

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**, En especial a la Facultad de Ingeniería que es cuna de grandes hombres y en ella se queda parte de nuestra vida.

*NUESTRO AGRADECIMIENTO:*

A todos y cada uno de los profesores que como a nosotros han ayudado a otros hombres a ser profesionistas; en parte somos obra de ustedes gracias.

*UN AGRADECIMIENTO ESPECIAL:* **Al Ing. José Martínez Pérez**

Por su ayuda y colaboración para realizar este trabajo, es usted una gran persona.

*A NUESTROS AMIGOS:*

**Rocha Rivas Miguel Ángel**  
**Jiménez Atzin Marco Antonio**  
**Duran Gama David**  
**Rivera Pérez Jesús Hugo**

Que compartieron nuestra vida universitaria , en la Facultad de Ingeniería.

# CONTENIDO

## DONACION

PÁG.

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

"TESIS DONADA POR LA  
BIBLIOTECA CENTRAL U.N.A.M.  
PARA USO EXCLUSIVO DE BIBLIOTECAS"

I - 1

### CAPÍTULO II

IMPACTO AMBIENTAL GENERADO AL PERFORAR  
EN AMBIENTES TERRESTRES Y MARINOS ..... II - 1

II.1 INSTALACIONES DEL EQUIPO DE PERFORACIÓN..... II - 1

II.2 IMPACTO ECOLÓGICO DE LA ACTIVIDAD PETROLERA..... II - 2

II.3 CONTAMINACIÓN AL MEDIO AMBIENTE..... II - 8

### CAPÍTULO III

ACTIVIDADES QUE GENERAN DESECHOS OPERANDO  
EQUIPOS DE PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS ..... III - 1

III.1 OPERACIONES DE PERFORACIÓN QUE GENERAN  
DESECHOS ..... III - 2

III.2 OPERACIÓN DE TERMINACIÓN Y REPARACIÓN EN  
DONDE SE GENERAN DESECHOS..... III - 9

III.3 CLASIFICACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE LAS  
ACTIVIDADES DE PERFORACIÓN, REPARACIÓN  
Y TERMINACIÓN..... III - 12

### CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL CONTROL  
MANEJO Y DISPOSICIÓN DE LOS CONTAMINANTES..... IV - 1

	PÁG.
IV.1 RECORTES DE PERFORACIÓN.....	IV - 1
IV.2 FLUIDOS DE PERFORACIÓN.....	IV - 1
IV.3 DESECHOS PRODUCIDOS EN EL ENTORNO DEL EQUIPO DE PERFORACIÓN.....	IV - 11
IV.4 TECNOLOGÍA PARA EL CONTROL DE AGUAS ACEITOSAS.....	IV - 13
IV.5 EMISIONES ATMOSFÉRICAS.....	IV - 18

## CAPÍTULO V

REGLAMENTOS Y NORMATIVIDAD DE PROTECCIÓN AMBIENTAL.....	V - 1
V.1 ESTUDIO DE LA REGLAMENTACIÓN NACIONAL..... E INTERNACIONAL	V - 3
V.2 REGLAMENTACIÓN INTERNACIONAL.....	V - 6
V.3 REGLAMENTACIÓN INTERNA DE PETRÓLEOS MEXICANOS PARA LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE DURANTE LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN, TERMINACIÓN Y REPARACIÓN A POZOS MARINOS.....	V - 17
V.4 REGLAMENTACIÓN PROPUESTA PARA LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE DURANTE LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN, TERMINACIÓN Y REPARACIÓN DE POZOS.....	V - 23
V.5 EVALUACIÓN DE PROYECTOS AMBIENTALES.....	V - 27

## CAPÍTULO VI

PROCESOS DE SANEAMIENTO.....	VI - 1
VI.1 CONCEPTOS .....	VI - 1
VI.2 APLICACIÓN DEL CONCEPTO DE REMEDIACIÓN.....	VI - 3
VI.3 DESCRIPCIÓN DE PROCESOS PARA LA REMEDIACIÓN.....	VI - 6
VI.4 PROCESOS BIOLÓGICOS DE DESCONTAMINACIÓN DE RECORTES.....	VI - 20

	PÁG.
VI.5 PROCESOS TÉRMICOS DE ELIMINACIÓN DE ACEITE DE LOS RECORTES.....	VI - 26
VI.6 OTROS PROCESOS DE DESCONTAMINACIÓN DE RECORTES.....	VI - 31
VI.7 COSTOS DE REMEDIACIÓN.....	VI - 34
VI.8 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE PERFORACIÓN.....	VI - 36

## **CAPÍTULO VII**

### CONCLUSIONES Y BIBLIOGRAFÍA

VII.1 CONCLUSIONES.....	VII - 1
VII.2 RECOMENDACIONES.....	VII - 4
VII.3 BIBLIOGRAFÍA.....	VII - 5

# I

## INTRODUCCIÓN

El uso indiscriminado de técnicas inadecuadas y mal planteadas en la industria han llevado a que el ambiente este irreversiblemente afectado; por lo que el objetivo de esta tesis va dirigida directamente a la presentación de la tecnología para la prevención y control de la contaminación de las actividades de perforación, terminación y reparación de pozos petroleros.

La industria petrolera debido a su elaborado proceso de explotación y exploración, así como el uso de equipo y sustancias tóxicas, son las actividades que más afectan al medio ambiente. Una de las principales fuentes de contaminación es la apertura de caminos que permitan llegar a los equipos de perforación en donde es afectado el suelo y subsuelo por los fluidos de perforación.

Aunque cabe aclarar que el impacto ambiental de las actividades petroleras dependen de la operación que se este realizando y del ecosistema en que se realice, debido a que los distintos organismos (en este caso acuáticos) responden de manera diferente a los hidrocarburos, muchos de ellos pueden asimilar tanto hidrocarburo; en el caso del suelo se considera el petróleo como un producto natural y la naturaleza es capaz de reincorporar una muy pequeña fracción de este a los ciclos biogeoquímicos ya que la complejidad química de algunos de sus constituyentes hace que el proceso requiera de varios años, pero aun así se debe de considerar que tanto la naturaleza como el medio ambiente no siempre pueda equilibrar los daños generados al perforar.

Simultáneamente se llevó a cabo la identificación de las fuentes emisoras de desechos generados durante la perforación, detectando el tipo de desecho y el lugar en que se genera; supervisando cada una de las actividades que se llevan a cabo, elaborando una clasificación y jerarquerización de los desechos.

Para contrarrestar el impacto ambiental ocasionado por los desechos generados durante la perforación; se establecen alternativas de solución para minimizar la contaminación al medio ambiente, presentando las tecnologías de



punta para el control, manejo y disposición de los contaminantes, enfocando únicamente el aspecto técnico.

Para lograr este fin establecido, se propone en el presente estudio una política de protección al medio ambiente a nivel nacional e internacional; estas normatividades son elaboradas para regular las descargas al mar, los desechos generados durante las operaciones de perforación, terminación y reparación. También se presenta una metodología de evaluación de proyectos ambientales.

Antes de que las políticas de protección ambiental se establecieran, se pensaba que esta protección resultaba excesivamente costosa y frenaba el desarrollo económico, pero a través del tiempo se ha comprobado que esto no es verídico, pudiéndose demostrar que ambas políticas ( desarrollo y protección al medio ambiente ) son perfectamente compatibles, debido al nuevo modelo de desarrollo que exigen los problemas y necesidades de esta época obligada a llevar a cabo un desarrollo sostenido y equilibrado, protegiendo al medio ambiente y haciendo uso racional de los recursos naturales, tanto los renovables como los no renovables, prestando atención tanto al medio acuático y terrestre. Además, las políticas de protección del medio ambiente empezaron con la corrección de los deterioros que se estaban provocando por el desarrollo económico, pero en la actualidad se han anexado políticas de prevención y métodos de remediación.

En este documento se ha tratado de enfatizar la función tan importante de describir los procesos de saneamiento, determinar su factibilidad de aplicación y la presentación de una metodología de análisis, esto esta enfocado a la imperante necesidad de limpiar los suelos contaminados.

Estas técnicas y procesos han sido utilizados con excelentes resultados. Para la elección de alguna de estas técnicas o procesos estarán en función de que sea el mejor proceso y el costo del mismo, ya que este último deberá ser la variable final de decisión.

La información empleada para el estudio ha sido complementada con investigaciones realizadas por el Instituto Mexicano del Petróleo durante la etapa de perforación terrestre de los campos Luna, Puerto Ceiba y Marisma principalmente, ubicados en el Estado de Tabasco. Con respecto a perforación marina en las plataformas Usumacinta, Nohoch-A, Nohoch-C, Ek-A, Sonat 87 Akal-E, ubicados en la Sonda de Campeche.



## **IMPACTO AMBIENTAL GENERADO AL PERFORAR EN AMBIENTES TERRESTRES Y MARINOS**

Las actividades de la industria petrolera, a nivel mundial, son consideradas como unas de las mas complejas debido a la diversidad de operaciones que implican su desarrollo. Esta situación la hace una de las industrias de mas alto riesgo y potencialmente contaminadora. Es necesario mencionar que la protección del medio ambiente en esta industria mexicana a sufrido un considerable rezago, ya que durante muchas décadas, desde la misma expropiación petrolera, se considero al medio ambiente como algo que podría restablecerse por si solo o bien que carecía de valor. Tal fue el caso de pantanos y selvas que, al no considerarlos productivos, se les afecto sin conciencia; por otro lado, también existía la mentalidad de que la producción era lo mas importante para el país, dejando en un segundo termino la preservación de los recursos naturales. En la actualidad muchas de las actividades que en materia de protección ambiental realiza y se dirigen no solo a la prevención, si no también a su corrección. También es cierto que en la actualidad subsisten problemas de contaminación en la industria y hay eventualidades que escapan a su control, como las contingencias que pueden suscitar derrames accidentales de hidrocarburos, incendios y desfuegos a quemadores. Para ello, se ha propuesto mantener una actitud de respeto hacia la naturaleza, otorgando igual prioridad tanto a la producción como a la conservación de los recursos naturales.

### **II.1 INSTALACIÓN DEL EQUIPO DE PERFORACIÓN.**

El grado de dificultad para eliminar los impactos al ambiente por actividades de perforación de pozos petroleros varia dependiendo de si se trata de exploraciones y/o explotaciones de hidrocarburos; en el caso de la instalación del equipo, si se tomaran las precauciones pertinentes, no deberían de provocarse daños ambientales importantes e irreversibles. En la exploración terrestre los pozos tienen un efecto en áreas limitadas que el ecosistema, en términos generales, podría regenerar. Esto no significa que la exploración

pueda realizarse en cualquier área. Es necesario revisar los casos particulares y a partir de un estudio del posible impacto que pueda producirse, tomar una decisión. En el caso del medio marino la perforación de pozos resulta mas compleja por la instalación del equipo de perforación, el manejo de los lodos de perforación, el manejo de maquinaria contaminante, etc. No obstante, con el uso de una tecnología adecuada y con precauciones debidas, el impacto podría atenuarse. Quizás uno de los efectos mas nocivos en la instalación del equipo de perforación, es la apertura de caminos, en los que no se han considerado las áreas que dañan. Ello ha significado la eliminación de extensas superficies de vegetación natural, selvas, pantanos, manglares, dunas, etc., y han dejado aislados e interrumpidos a ecosistemas que requieren de una intercomunicación natural. En el caso de explotación los impactos resultan mas intensos. El efecto de la contaminación por hidrocarburos dependerán del número de pozos por unidad de superficie, del tipo de sistemas, si son cerrados, como las lagunas, o abiertos, como el mar, y de los desechos si es crudo, lodos de perforación, sales, agua salada, sedimentos, gas natural, etc.

El efecto en ambientes cerrados o abiertos es diferente. Mientras que en el mar el movimiento del agua: corrientes, olas, mareas, reduce la concentración y la toxicidad de los desechos derramados por difusión, dispersión, incremento de la volatilización y emulsificación; en aguas cerradas, por el contrario, un derrame puede tardar años en limpiarse.

## **II.2 IMPACTO ECOLOGICO DE LA ACTIVIDAD PETROLERA**

La carencia de una planeación del uso del suelo y de los recursos, ha puesto a competir entre si a las distintas actividades productivas. La agricultura se desarrolla a costa de áreas forestale, la ganadería a costa de áreas agrícolas y la industria, urbanización y actividad petrolera a expensas de todas las anteriores, incluyendo a la pesca. Es evidente que la actividad mas rentable, aquella que brinde una mayor ganancia, se impone sobre las de mas aun cuando se produzcan serias alteraciones ambientales. Los efectos, a veces irreversibles, pueden detectarse inmediatamente en algunos casos y otras veces a mediano o incluso a largo plazo.

### **II.2.1 Política Ecológica.**

En materia de protección ambiental, el tema de los recursos energéticos, ocupa una área importante. Las fuentes de energía son recursos naturales que el modelo de desarrollo vigente tiende a agotar. En ese sentido, las disposiciones jurídicas fundamentales que regulan las actividades petroleras, tutelan la protección del recurso. Y se complementa con las regulaciones que se expiden con fundamento en la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal y las contenidas en la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y sus reglamentos respectivos ( tabla II.1 ).

Uno de las principales figuras jurídicas que marca la ley es la que se refiere a la política ecológica, ésta tiene que ser uno de los mecanismos para lograr la articulación del estilo de desarrollo con la protección al ambiente y la preservación y restauración del equilibrio ecológico.

Dentro de los instrumentos de la política ecológica destacan para la industria petrolera la planeación, el ordenamiento ecológico, la evaluación del impacto y los criterios ecológicos en la planeación del desarrollo; la planeación en la industria petrolera debe de contemplar programas que tengan por objeto la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.

### **II.2.2 Social.**

Hasta la fecha el desarrollo de la industria petrolera ha acentuado más los problemas, la exploración, perforación de pozos, e instalación del equipo, ha afectado tierras de cultivo, contaminando las aguas de los ríos, lagunas, mares y la atmósfera de las áreas circundantes a la industria, ocasionando un impacto nocivo sobre la agricultura, ganadería, fruticultura, pesca y sobre las condiciones de vida de la población.

MARCO JURIDICO DE LAS ACTIVIDADES PETROLERAS			
Disposiciones Jurídicas	Referencia	Descripción	
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	Art. 27	Establece que le corresponde a la nación el dominio directo del petróleo y todos los hidrocarburos sólidos, líquidos o gaseosos agregando que no se otorgarán concesiones ni contratos pues la Nación llevará a cabo la explotación de estos recursos.	
	Art. 28	Señala que no constituirán monopolios las funciones que el Estado ejerza de manera exclusiva en el área estratégica del petróleo y los demás hidrocarburos.	
Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo (L.R.)	Art. 1	Señala que corresponde a la nación el dominio directo, inalienable e imprescriptible de todos los hidrocarburos que se encuentren en el territorio Nacional en mantos o yacimientos.	
	Art. 2	Indica que la Nación puede llevar a cabo las distintas actividades relacionadas con los hidrocarburos que constituyen la industria petrolera.	
	Art. 3	Indica que la industria petrolera esta constituida por la exploración, explotación la refinación el transporte, el almacenamiento, la distribución y las ventas de primera mano del petróleo, gas, gas artificial, los productos que se obtengan de la refinación de estos y de aquellos derivados que sirvan como materias primas industriales básicas.	
	Art. 4	Señala que la Nación lleva a cabo la exploración y la explotación del petróleo y las demás actividades que constituyen la industria petrolera, por conducto de la institución pública descentralizada llamada Petróleos Mexicanos (PEMEX).	
	Art. 8	Indica que el Ejecutivo Fed. está facultado para establecer zonas de resevas petroleras en terrenos que por sus posibilidades petrolíferas así lo ameriten.	
	Art. 9	Establece que la industria petrolera es de exclusiva jurisdicción federal y únicamente el Gobierno Federal puede dictar las disposiciones técnicas o reglamentarias que la rigen y establecer los impuestos que la graven.	
	Art. 10	Prescribe que la industria petrolera es de utilidad pública prioritaria sobre cualquier aprovechamiento de la superficie y del subsuelo de los terrenos.	
	Art. 5	Establece que la exploración y explotación de petróleo que lleva a cabo PEMEX se realiza mediante la asignación de terreno que para el efecto le haga la secretaria correspondiente.	
	Reglamento de la L.R. del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo	Art. 20.21.22	Indica que se le puede negar total o parcialmente las asignaciones que solicite PEMEX, cuando se resuelva que los terrenos solicitados deben incorporarse o seguir formando parte de las zonas de reserva de la Nación, o cuando los derechos y obligaciones que de ellas se deriven se transfieren o graven en cualquier forma.
		Art. 23.24.25	Indica disposiciones generales relativas a la refinación.
Art. 37		Señala que se podrá declarar la ocupación temporal o la expropiación de terrenos de utilidad para la industria petrolera en caso de no lograrse convenio con los particulares o no conocerse a los propietarios o poseedores.	

## MARCO JURIDICO DE LAS ACTIVIDADES PETROLERAS

Disposiciones Jurídicas	Referencia	Descripción
	Art. 45	Prescribe que cuando los terrenos son de jurisdicción federal o de propiedad de los estados y los municipios, la adquisición o el uso temporal de los mismos se obtienen de la autoridad y en la forma que corresponda.
Reglamento de trabajos petroleros	Art. 1	Prescribe que los trabajos petroleros requieren de permiso previo de la Secretaría competente y defina lo que se entiende por trabajos petroleros.
	Art. 7	Establece la obligación de acompañar a la solicitud de permiso una memoria descriptiva y los planos necesarios a fin de justificar técnica y económicamente las obras y construcciones, desde el punto de vista de la seguridad y el mejor aprovechamiento de los hidrocarburos naturales.
	Art. 23	Indica que PEMEX tiene la obligación de mantener todas sus instalaciones en buen estado sanitario y de conservación.
	Art. 29	Señala que los permisionarios tienen la obligación de dar aviso por la vía más rápida en caso de accidentes en las instalaciones, a la dirección o agencia respectiva de PEMEX y a la Sedesol, cuando en cualquier forma se afecte a la ecología o se contamine el ambiente.
	Art. 37	Señala que corresponde al organismo permisionario la responsabilidad por los daños y perjuicios que se ocasionen al tránsito terrestre, al fluvial, o al marítimo, al ambiente, la pesca, la agricultura, la ganadería o a terceras personas.
	Art. 38	Señala la obligación de permisionario de proporcionar oportunamente a la dirección o a las agencias todos los programas, informes o datos que se estipulan en este reglamento. Tales como los que aparecen en los informes diarios de operación de perforación, terminación y reparación de pozos.
	Art. 51 al 293	Indica las regulaciones sobre las siguientes materias: exploración, perforación, producción, taponamiento de pozos, transporte, almacenamiento, terminales y plantas de almacenamiento y distribución.
Reglamento de la L.R. del Art. 27 Const. en el Ramo del Petróleo, en Materias de Petroquímica	Art. 10	Establece que la Secretaría competente, oyendo previamente la opinión de la comisión Petroquímica Mexicana podrá expedir los permisos para la elaboración de productos petroquímicos; en esos permisos se establecerá, entre otras cosas, la ubicación de la planta donde se elaborarán los productos.
Ley Orgánica de la Admón. Pública Federal	Art. 33	Faculta a la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (SEMIP) para llevar el catastro petrolero, así como regular la industria petrolera y petroquímica básica (fracc. VI y VIII).

MARCO JURIDICO DE LAS ACTIVIDADES PETROLERAS		
Disposiciones Jurídicas	Referencia	Descripción
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)	Art. 1	Señala que la ley tiene por objetivo establecer las bases para el aprovechamiento racional de los elementos naturales de manera que sea compatible con el equilibrio de los ecosistemas y para establecer la coordinación en la materia entre las diversas dependencias y entidades de la Administración Pública Federal.
	Art. 5	Indica que son asuntos de interés de la Federación la regulación de las actividades de alto riesgo y relacionadas con materiales y residuos peligrosos (fracc. X y XIX) y el aprovechamiento racional del agua, suelo y los recursos del subsuelo (fracc. XVI, XVII, y XVIII).
	Art. 15	Señala que los recursos naturales no renovables deben utilizarse de manera que se evite el peligro de su agotamiento y la generación de efectos ecológicos adversos.
	Art. 3.19,20,98 y 99	Regula las actividades de ordenamiento ecológico del territorio que tienen implicaciones para la industria petrolera.
	Art. 29	Establece la aplicación de la evaluación de impacto ambiental a la obra pública la exploración, extracción, tratamiento y refinación de sustancias minerales y no minerales reservadas a la Federación, oleoductos, gasoductos y la industria petroquímica (fracc. I, II y IV).
	Art. 108 y 109	Faculta a la Sedesol para expedir las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) necesarias para la protección del medio ambiente y de algunos componentes suyos de los efectos de la exploración y explotación de los recursos naturales no renovables.
Reglamento de la LGEEPA en Materia de RP	Todos los Artículos	Regula las actividades de generación, almacenamiento, transporte, reciclaje, incineración y disposición final de Residuos Peligrosos (RP).
Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y RP	Todos los Artículos	Regula las actividades de envase y embalaje, equipamiento de vehículos, seguridad, responsabilidades y obligaciones relacionadas con el transporte de residuos peligrosos.
Ley Orgánica de Petróleos Mexicanos	Art. 11	Señala que una de las funciones de los directores generales es la de cuidar de la observancia de las disposiciones relativas al equilibrio ecológico y preservación del medio ambiente que garanticen el uso adecuado de los recursos petroleros (fracc. XI).

TABLA II.1 MARCO JURIDICO DE LAS ACTIVIDADES PETROLERAS

### II.2.3 Flora y Fauna.

Los ecosistemas tropicales de cualquier región tiene una gran importancia tanto por su complejidad y diversidad como por el potencial que representan para el desarrollo del sector primario. Se les ha llamado ecosistemas frágiles por ser muy sensibles a las perturbaciones que se ejercen sobre ellos. Su dinámica se ve fácilmente afectada cuando se alteran las condiciones naturales.

Su recuperación resulta ser mucha mas lenta y compleja que los ecosistemas de zonas templadas, los cuales están constituidos por un menor número de especies y por lo tanto de una red de interacciones más sencillas de entenderse, manejarse y restablecerse. La complejidad de la dinámica de los ecosistemas tropicales es una de las causas que dificultan determinar la forma apropiada de ser usados sin que implique su destrucción.

El grado de contaminación de estos ambientes es variable dependiendo de las localidades. La destrucción de las áreas productoras como son los estuarios, las lagunas costeras, así como los pastos marinos, los pastos de los pantanos; son las causas que reduce drásticamente su potencial para producir especies y así poner en peligro las riquezas de la fauna y la flora. En general no sería aventurado decir que el grado de contaminación es alto y que por lo tanto es urgente su atención. Se requiere de estudios detallados de la región para evaluar realmente los efectos causados sobre la flora y la fauna.



## **II.3 CONTAMINACIÓN AL MEDIO AMBIENTE.**

En la industria petrolera es de vital importancia conocer y evaluar el deterioro actual y potencial en los ecosistemas y en algunos recursos naturales en particular que se deriven de sus actividades, con el objeto de diseñar políticas que tiendan hacia una industria cada vez mas limpia, sin descuidar al mismo tiempo el crecimiento y el desarrollo de este sector estratégico de la economía nacional. El impacto ambiental producido por los energéticos comprende los efectos de todas y cada una de las fases de su ciclo de producción.( Tabla II.2 )

### **II.3.1 Contaminación Atmosférica.**

Debido a la naturaleza de los procesos y actividades que se llevan a cabo en las instalaciones petroleras, se producen en emisiones de contaminantes a la atmósfera. Estas emisiones se deben principalmente a las siguientes fuentes: servicios auxiliares (generación de vapor y de energía), quemado de gases excedentes de proceso, quemado de corrientes por seguridad en casos de emergencias.

A fin de reducir y eliminar dichas emisiones que pueden causar perturbaciones en el medio ambiente, la industria petrolera ha dotado a sus instalaciones de diversos dispositivos anticontaminantes entre los cuales destacan los siguientes: quemadores de fosa para casos de emergencia; quemadores de fosa sin humo tipo vela para emisiones controladas; quemadores tipo multijet de alta eficiencia; quemadores elevados que permiten una combustión completa de gases residuales y dispersión de los mismos.

### **II.3.2 Lacustre.**

Estos sistemas, habitados por pocas especies de animales y plantas constituyen un eslabón fundamental en el ciclo de nutrientes y de agua. No obstante, se les ha menospreciado porque aparentemente no tienen que ver en las actividades económicas.

IMPACTO AMBIENTAL OCACIONADO POR LAS ACTIVIDADES DE LA INDUSTRIA PETROLERA.						
ETAPA	FASE	TIPO DE IMPACTO	afectación de recursos naturales			
			Agua	Aire	Suelo	Biota
Exploración terrestre	Prospección física	Desmontes por construcción de rutas de acceso; remoción de cubierta vegetal o edifica para instalar campamentos e instalaciones; actitudes depredatorias sobre recursos bióticos y abióticos por parte de quienes realizan las exploraciones.	XX		XX	XX
	Perforación y Operación de pozos exploratorios	Desmontes por construcción de instalaciones; perturbación de ecosistemas; desplazamiento de especies animales; riesgos de contaminación por derrames de materiales y descontrol del pozo.	XX	XX	XX	XX
Exploración marina.	Perforación de pozo exploratorio	Perturbación de ecosistemas y desplazamientos de especies animales; además existen mayores riesgos de alteración de los ecosistemas marinos por que en dicho medio hay mayores posibilidades de dispersión de contaminantes que en el medio terrestre; desechos industriales y humanos.	XX			XX
Desarrollo de campos terrestres	Construcción de infraestructura, instalación de equipo de perforación así como operación y mantenimiento	Cambio de uso de suelo, construcción de vías de acceso que implica desmontes y modificación de la cubierta vegetal o edifica; así mismo de manera indirecta las vías de acceso se convierten en vectores de colonización espontánea y de asentamientos irregulares; perturbación de ecosistemas y desplazamiento de especies, así como acumulación de desechos humanos e industriales, contaminación por lodos base aceite y recortes contaminados, y utilización de quemadores	XX	X	XX	XX
Desarrollo de campos marinos	Construcción de infraestructura, instalación de equipo de perforación así como operación y mantenimiento	Contaminación del mar por emisiones de fluidos (aguas negras, lodos de perforación base aceite, aceites y lubricantes gastados) emisión de sólidos (Basura doméstica, industrial y chatarra), otras emisiones (gas natural, gas y condensado, dióxido de azufre), perturbación de ecosistemas y desplazamiento de especies.	XXX	XX		XX

( X ) Impacto bajo  
 ( XX ) Impacto medio  
 ( XXX ) Impacto grave

TABLA II.2 Impacto al Ambiente por la Perforación de Pozos Petroleros Marino y Terrestre

Los residuos de petróleo crudo, fundamentalmente grasas, aceites, fenoles y aguas enchapopadas, forman una nata sobre las aguas; el crudo que se derrama en los pantanos sufre un proceso de intemperización consistente en que se evaporan los hidrocarburos volátiles, y otros se depositan en forma asfáltica.

### **II.3.3 Contaminación del Medio Marino.**

En esta zona se realizan actividades de exploración, explotación, transportación y comercialización de productos petroleros. En las operaciones normales de la explotación del petróleo se generan desechos sólidos, líquidos y gaseosos; emisiones que son controladas con dispositivos y sistemas anticontaminantes, instalados en cada plataforma marina, con lo que se logra minimizar los vertimientos de contaminantes al mar. No obstante el cuidado que se tiene durante las operaciones que se realizan en las instalaciones, se presentan contingencias por derrames accidentales de hidrocarburos ocasionados por factores fuera de control.

### **II.3.4 Contaminación de los Suelos.**

La industria petrolera en los últimos años, a tenido una expansión en sus actividades de exploración y explotación. Estas actividades llevan consigo un riesgo de contaminación debido, en ocasiones, a derrames accidentales de hidrocarburos y vertimiento sin control de aguas de desecho, que en un momento dado han llegado a afectar los terrenos aledaños a las instalaciones.

Para controlar y mitigar los afectos en el ambiente, se lleva a cabo un programa de restauración ecológica que comprende las acciones correctivas, tendentes a restablecer el área afectada a un nivel de capacidad productiva igual a sus condiciones originales.

Con base en sus experiencias en el campo de la restauración en diferentes tipos de suelo, se han implantado los siguientes procedimientos:

⇒ Eliminación de hidrocarburos.

- Recuperación de hidrocarburos: Se realizan, en primera instancia, para facilitar los trabajos de restauración recolectando el aceite derramado.
- Retiro de vegetación afectada: Se realizan, con medios mecánicos o manualmente, para limpiar el área de vegetación dañada no aprovechable.

⇒ Tratamiento y acondicionamiento del suelo.

● Drenado:

Consiste en desalojar y conducir, en forma controlada, el agua de desecho vertida en los terrenos. Esto se realiza mediante la construcción de drenes y canales.

● Regeneración del suelo:

La aplicación de materiales como cal viva y paja inducen un reacondicionamiento al eliminar la capa aceitosa, permitiendo el intercambio de oxígeno con el suelo.

⇒ Reforestación.

● Utilización de especies resistentes.

La reforestación se lleva a cabo con las especies que muestran mejores resultados en los ensayos de adaptación.

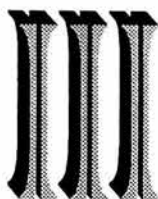
● Planeación.

Se realiza con el objeto de promover el establecimiento de un ambiente propicio para inducir el proceso natural del suelo, considerando las características de la zona, así como la propagación de las especies.

### **II.3.5 Aguas Residuales.**

El amplio número de procesos y servicios que se llevan a cabo para enfriamiento, generación de vapor y de servicio en general, demandan importante volumen de aguas de abastecimiento de fuentes superficiales subterráneas, y en la misma medida, en general aguas residuales; estos efluentes, de acuerdo a sus características, son manejados a través de redes de drenajes segregados, tales como aceitoso, químico, sanitario y pluvial, hasta los sistemas de tratamiento. Para una mejor planeación del uso de los recursos de agua en el control de su contaminación, se dedica especial atención al objetivo de minimizar en lo posible las fuentes potenciales de contaminantes, mejorando o modificando el diseño de las instalaciones de proceso y la selección de equipos.

Las aguas residuales que se generan reciben diferentes tratamientos, en función del tipo de proceso de donde provienen y de los contaminantes que contienen. Tratamientos que van desde los más simples, donde por procedimientos físicos y químicos se eliminan los contaminantes, hasta los más complejos, del tipo biológico, en los cuales se tratan compuestos de difícil degradación. De esta forma, las aguas residuales reciben el grado de tratamiento capaz de modificar las condiciones físicas-químicas y tóxicas, ajustándose a las normas establecidas por las autoridades, evitando que su disposición final origine cambios en los cuerpos de agua receptores.

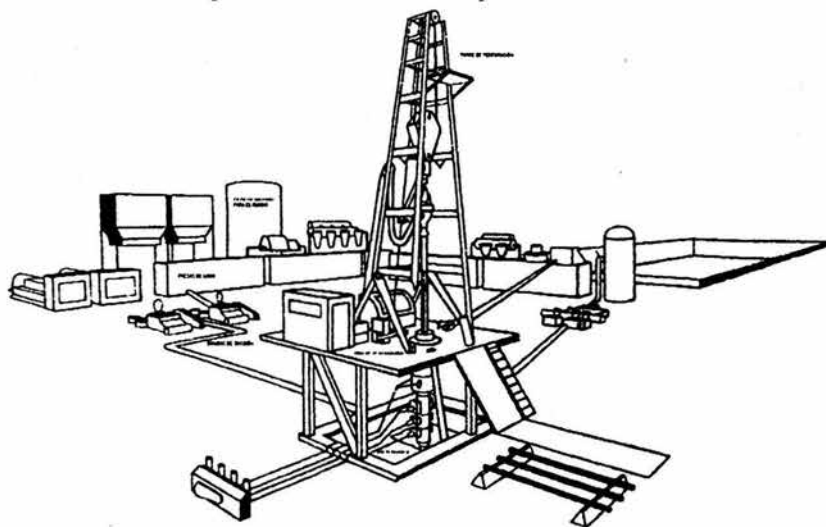


## ACTIVIDADES QUE GENERAN DESECHOS OPERANDO EQUIPOS DE POZOS PETROLEROS

Las actividades que generan desechos durante la operación de equipos son todas aquellas que se consideran durante la perforación de un pozo, su terminación y alguna intervención posible durante la misma. Incluyendo los conceptos de perforación terminación y reparación de pozos petroleros, contemplando pozos marina y pozos terrestres.

A continuación se detallara cada una de las fuentes emisoras durante la perforación donde se generan, describiendo los puntos de generación y dando las características generales de los desechos.

En el presente solamente se contemplan únicamente las emisiones de desechos generados alrededor del equipo de perforación y las actividades que se requieren para perforar un pozo, no contempla desechos producidos en la zona habitacional, chatarra de tuberías y equipos, basura, u otro tipo de desperdicio ocasionado por la convivencia del personal en la zona.



**Fig. III. Sistema Hidraulico**

### **III.1 OPERACIONES DE PERFORACIÓN QUE GENERAN DESECHOS.**

Las operaciones que aquí se indican son de suma importancia durante la perforación y generan una gran cantidad de desechos, además de contaminar el fluido de perforación por las sustancias que se le van adicionando, al estar realizando las diferentes operaciones de la perforación.

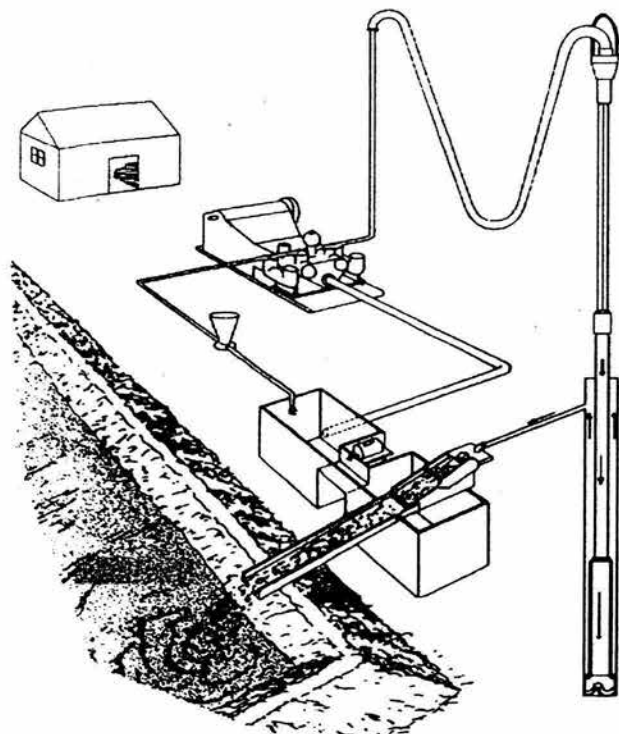
A continuación se describirán cada una de las operaciones donde se generan los desechos:

#### **III.1.1 Perforación**

Los desechos que se generan durante la perforación son los recortes de formación impregnados de aceite y son transportados a la superficie por el fluido de perforación, generalmente son pequeños y consisten en arcillas, lutitas, areniscas, carbonatos y haluros. Estos recortes al ser separados en la superficie quedan impregnados del fluidos de perforación que se estén usando.

Los recortes llegan a una criba vibradora ( Temblorina), en donde son separados del fluido, en un equipo terrestre estos son desechados en una presa o sumidero de desperdicios, en equipos marinos se tiran directamente al mar, formando pilas compactas que permanecen intactas en el fondo marino. Sin embargo el grado de toxicidad es relativo ya que depende del tipo de fluido empleado (ver fig III.2).

El volumen de recortes generados durante la perforación están en función del diámetro del agujero e intervalo perforado. Durante la primera fase de perforación es difícil tener un control adecuado en el manejo de los recortes de perforación ya que se tienen diámetros grandes, por lo que se desecha una gran cantidad de recortes y fluido. Conforme avanza la perforación se van disminuyendo los diámetros y el volumen de desperdicios va disminuyendo y se puede tener una mayor eficiencia en control de los desechos.



**Fig.III.2 Proceso de perforación**

### **III.1.2 Viajes de Tubería**

Por múltiples razones durante la perforación de un pozo se realizan movimientos ascendentes y descendentes de tuberías (viajes), ya sea para realizar cambio de barrera, empleo de herramientas especiales, acondicionamiento de lodo, por problemas de pérdidas de circulación, toma de registros, espera de materiales, etc. y estas actividades generan fluido de perforación como desecho. Estos viajes pueden ser hasta la superficie o bien dejar estacionada la sarta, generalmente a la altura de la última zapata de tubería de revestimiento, o una determinada profundidad como medida de seguridad, en los cuales; el fluido arrastrado hacia afuera del pozo por la parte exterior e interior del tubo. El lodo viaja a través de la sarta generándose derrames de fluidos durante el movimiento ascendente, así como en el momento de la desconexión del tubo o lingada.



### **III.1.3 Conexiones Durante la Perforación**

Al ir incrementando la profundidad del pozo, es necesario adicionar tubos cada 9 o 10m. perforados, por lo que es requerido desconectar la flecha de perforación y conectar un nuevo tubo con el fin de continuar la perforación. Al realizar la operación de conexión, primero se levanta la flecha hasta una posición adecuada en la cual la sarta estará soportada por unas cunas, luego se desconecta la flecha y como esta contiene fluido de perforación en su interior, este es vertido al piso de perforación. Además en cada conexión, a la rosca del tubo se le agrega grasa para sellar la unión, siendo estos dos los desechos producidos.

### **III.1.4 Cambio del Fluido de Perforación**

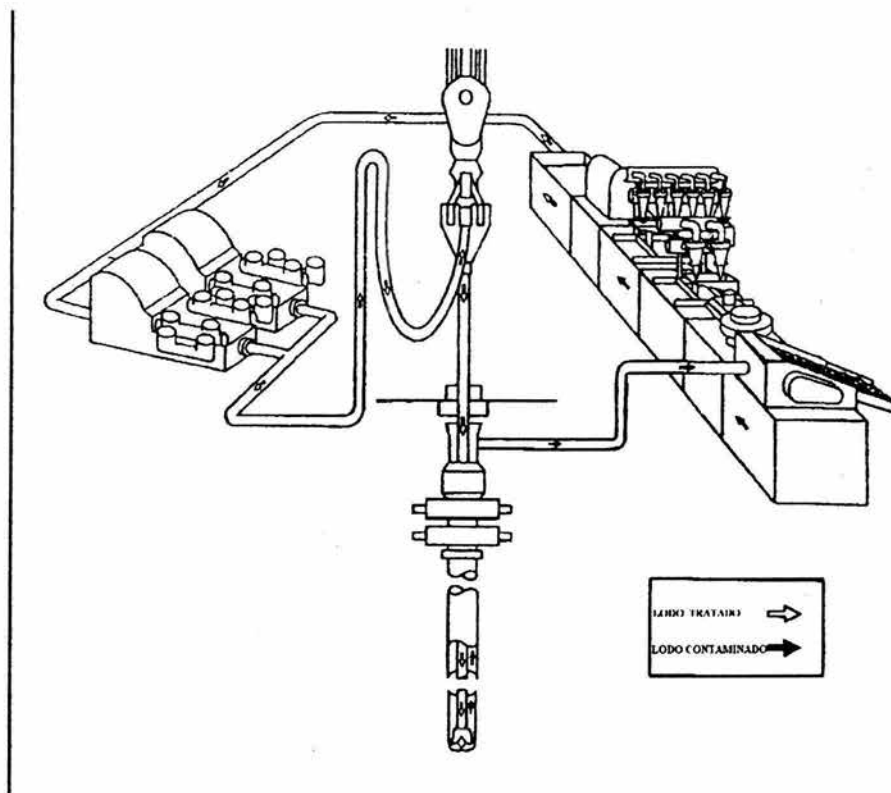
El cambio de fluido de perforación es necesario al estar perforando, para penetrar cada una de las diferentes formaciones que varían en sus propiedades litológicas de las formaciones o por la necesidad de control de la estabilidad del agujero.

En estos trabajos, parte de los fluidos contenidos tanto en presas como en el abastecedor (camión, o buquetanque según el caso) son desechados.

### **III.1.5 Tratamiento y Acondicionamiento de Fluidos**

Los fluidos de perforación, terminación y acondicionamiento del pozos, que hayan sido recuperados de tales operaciones se degradan y pierden sus propiedades a través del tiempo de uso, debido a que se le incorporan materiales y fluidos ajenos a su preparación; por lo tanto, es necesario acondicionarlos. (fig III.3).

Durante estas operaciones, se adicionan materiales y aditivos, así como fluidos para restablecer propiedades desechables para su buen funcionamiento. Como las presas están llenas de lodo contaminado, al adicionarle cualquier volumen es necesario deshacerse de un volumen igual al generado por la adición de materiales, aditivos, etc. Por lo que parte del fluido contaminado, con materiales aditivos químicos durante su manejo son desechados.



**Fig III.3 Tratamiento de fluidos**

### III.1.6 Limpieza del Equipo y Piso de Perforación

La limpieza del equipo de perforación y el piso del mismo se realiza continuamente, con la finalidad de mantener limpio de desechos del lodo, aceites lubricantes grasas, etc. tanto el equipo y herramientas como las áreas de trabajo, como medida de seguridad.

Al realizar estos trabajo, generalmente se usa agua o diesel (según el tipo de fluido de perforación) para remover los desechos, los cuales son arrojados produciendo aguas aceitosas, el volumen desechado es difícil de cuantificar debido a que se limpia con flujos no medibles.

### **III.1.7 Limpieza de Presas.**

Una vez realizado el vaciado de presas de lodo para el cambio de tipo de fase del mismo y debido a la altura de los drenajes con respecto al fondo de la presa se deposita lodo del fondo al nivel de la boca de drene, el cual no fluye al vaciar las presas.

Este volumen se desaloja mediante una bomba de achique o el empleo de palas y cubetas en forma manual debido a que se encuentra una muy alta cantidad de sólidos asentados este es un material que no se reutiliza por lo tanto se desecha.

### **III.1.8 Pruebas de Tubería de Revestimiento (T.R.) y Preventores.**

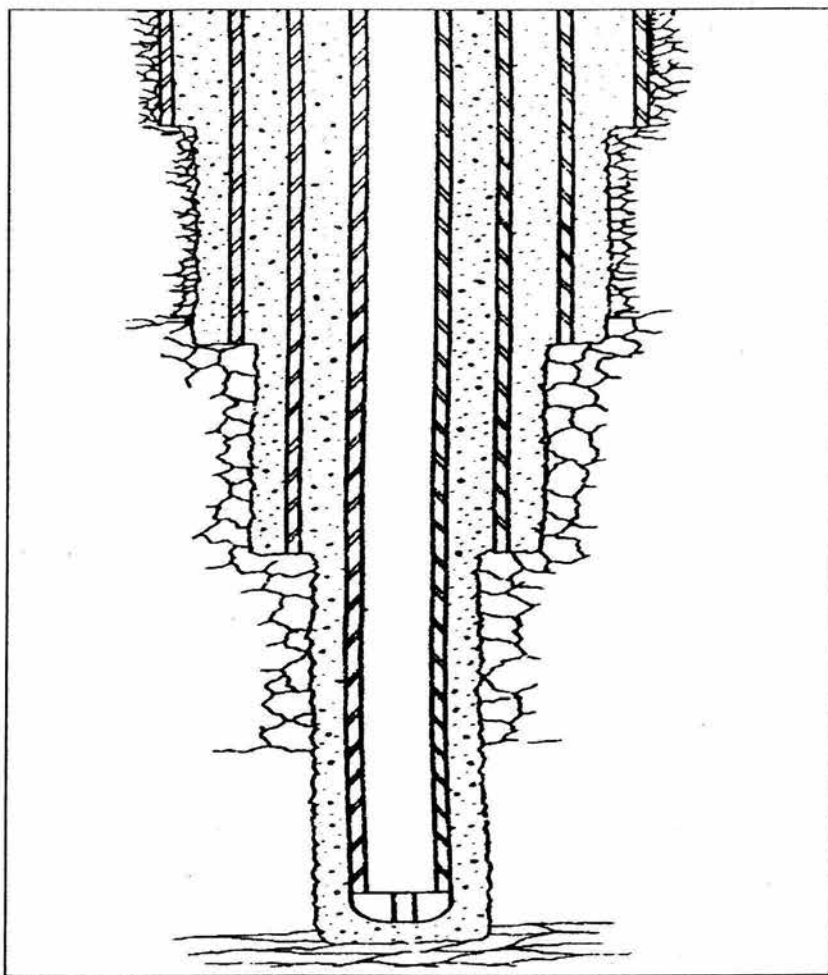
Esta operación se realiza después de haber cementado una T.R., se le realizan pruebas para cerciorarse de la efectividad de la cementación, así como de las conexiones y ensambles del sistema de preventores y cabezales.

En la realización de estos trabajos, llega a haber fugas de fluidos de perforación en los uniones del sistema de control superficial. Los volúmenes arrojados al realizar las pruebas es difícil de cuantificar.

### **III.1.9 Introducción y Cementación de Tubería de Revestimiento.**

Después de haber perforado un cierto intervalo de la formación se introduce tubería de revestimiento a una profundidad previamente seleccionada, posteriormente se inyecta una lechada de cemento para adherirla a la formación, esto es con la finalidad de ademar el pozo, para aislar zonas no deseables y mantener el control del pozo (fig.III.4).

Sin embargo es necesario la limpieza de la tubería (mediante un escareador) y triturar el tapón de cemento que queda en el pozo a fin de continuar con la perforación de la siguiente etapa. Durante la limpieza, molienda, la mezcla de cemento, y residuos metálicos de accesorios de T.R., son desechados debido a que el lodo sale completamente contaminado y altera las propiedades del nuevo lodo de perforación si se incorpora en el.



**Fig III.4 Cementación de tubería**

### **III.1.10 Mantenimiento a Máquinas.**

Los desechos que se generan son residuos de aceites, combustibles y grasas que se derraman, los cuales son relativamente pocos al darles mantenimiento a las maquinas, malacates, bombas y otros equipos auxiliares propios en un equipo de perforación, estos son sumamente tóxicos.

### **III.1.11 Fugas en Conexiones Superficiales.**

Durante las operaciones de perforación, terminación y reparación de pozos se desechan fluidos de perforación debido a fugas de fluidos principalmente en las conexiones superficiales, a causa del desgaste prematuro, mala calidad de los accesorios (empaques) o falta de mantenimiento adecuado y oportuno de las conexiones superficiales (bombas de lodo, mangueras, tuberías, flecha, preventores, juego de válvulas y estranguladores, etc.). El volumen no es posible cuantificarlo.

## III.2 OPERACIONES DE TERMINACIÓN Y REPARACIÓN EN DONDE SE GENERAN DESECHOS.

Las actividades que se realizan durante la terminación y reparación son:

- Estimulación de pozos.
- Inducción de pozos.
- Tapones de sal.
- Toma de núcleos.
- Manejo y traslado de materiales.

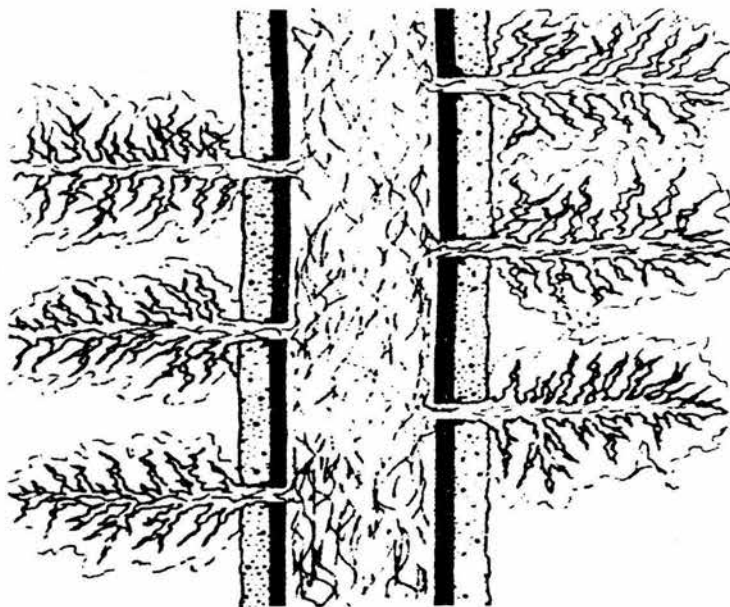
Esta es la segunda etapa de la perforación de un pozo petrolero, debido a que aquí se realizan las terminaciones de los pozos y si están mal hechos los diseños provocarían que se realice una reparación (menores y mayores) y con esto se generarían una gran cantidad de desperdicios ( como: cemento, fluido de control, sustancias, ácidos, etc.).

A continuación se describirán cada una de las operaciones donde se generan desechos.

### III.2.1 Estimulación de Pozos.

Una de las actividades mas importantes que se realiza en la intervención de un pozo es la estimulación (acidificación matricial). Esta operación tiene como objetivo incrementar el gasto de producción y prolongar la vida del pozo. (fig.III.5).

Para lograr el objetivo de esta operación se necesita tener las características de la formación productora, historia de la producción del pozo, de la matriz rocosa y de los fluidos contenidos en la formación. Antes de inyectar el ácido se deben de realizar pruebas de compatibilidad del ácido con lo hidrocarburos del yacimiento, para definir la reacción y así dosificar adecuadamente la cantidad de ácido a utilizar.



**Fig.III.5 Acidificación matricial**

Al inyectar el ácido a la formación, este reacciona con la matriz de la roca y dependiendo de la concentración, volumen y tiempo de exposición será el efecto en la zona estimulada.

Después de un tiempo los fluidos extraídos de la estimulación del pozo es una mezcla compuesta por fluidos de control, solución ácida gastada, sedimentos, hidrocarburos que van directamente a un quemador, parte de estos fluidos que no logran quemarse son vertidos al mar en los pozos costa afuera y en los pozos terrestres son arrojados a las presas de desperdicio.

### **III.2.2 Inducción.**

Los pozos petroleros son intervenidos para su arranque a la producción, estos son inducidos para que arrojen los hidrocarburos a el interior del pozo, inyectando al pozo fluidos de bajo peso específico como (nitrógeno, espumas, etc.) para disminuir la presión hidrostática de fluido.

Durante la operación se abre una línea hacia un quemador para tratar de incinerar los desechos de los fluidos de control y toda sustancia inflamable proveniente del pozo. No es posible quemar residuos de sólidos, gases y otros materiales no inflamables que acompañan la mezcla de flujo.

### **III.2.3 Tapones de Sal.**

Al intervenir un pozo se producen desechos de las salmueras utilizadas para realizar operaciones de reparación del mismo, muchas veces es productora utilizando solamente un obturante fácil de remover y que no genere daño alguno a la formación.

Para la cual se utilizan tapones de sal, se coloca una salmuera sobresaturada de cloruro de sodio frente a la zona productora mientras se realiza la reparación del pozo. El volumen de salmuera extraída una vez terminada la operación varía dependiendo de la longitud del intervalo productor, y como se saca por medio del flujo de agua, esta diluye la sal reduciendo la contaminación de la salmuera.

### **III.2.4 Toma de Núcleos.**

Los núcleos son fragmentos de roca relativamente grandes que son cortados mediante un muestreador (barreras especiales). Un núcleo proporcionará datos directos y precisos de la formación perforada, como son la litología y contenido de fluidos, siempre y cuando no esté contaminada. En muchas ocasiones solo es posible mediante el estudio directo de una muestra de roca extraída de la zona que se penetra. Al realizar esta operación se extrae fluido de perforación contaminado.

### **III.2.5 Manejo y Traslado de Materiales.**

Para abastecer al equipo de perforación de los materiales tales como aditivos, barita, bentonita, cemento, ácidos y en algunas ocasiones de lodos ya preparados para equipos marinos, para completar cualquier operación en un pozo, se realizan maniobras de carga y descarga de los materiales a fin de ser empleados en su oportunidad. Los derrames de estos enseres se dan por falta de precaución del operario o por falla en el equipo de descarga, el volumen del derrame varía según la eficiencia de la instalación y mal manejo del material.



### III.3 CLASIFICACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE PERFORACIÓN.

Una vez clasificadas las operaciones, se concluyo que las operaciones mas importantes respecto a la cuantificación del volumen, y toxicidad del desecho producido son las siguientes:

- Perforando el pozo.
- Viajes de tubería.
- Conexiones durante la perforación.
- Cambio de fluido de perforación.
- Tratamiento y acondicionamiento de fluidos.
- Limpieza del piso de perforación.
- Limpieza de presas.
- Pruebas de T.R. y preventores.
- Cementación de T.R.
- Estimulación de pozos(acidificación matricial).
- Inducción de pozos.
- Tapón de sal.
- Toma de núcleos.
- Mantenimiento a máquinas.
- Traslado y manejo de materiales.

Una vez detectadas las operaciones generadoras de desechos, es necesaria su apropiada clasificación en las intervenciones en el pozo, así como durante el transporte y abastecimiento de materiales que se requieren.

En la tabla III.1 se resume la cantidad de desechos generados por operación durante la elaboración de un pozo, para lo cual se ha considerado un pozo de 6500m. de profundidad y geometría usual en México (tabla III.1a). Aunque los pozos en la zona marina con respecto a la terrestre tienen ciertas diferencias en sus diámetros, profundidades y longitudes de sección, se ha considerado en este pozo tipo los aspectos importante en cada caso, por lo que se considera representativo para ambas situaciones.

GEOMETRÍA		
prof. (m)	bna (pg)	T.R (PG)
3000	36	30
1000	26	20
3000	17 1/2	13 3/8
5000	12 1/4	9 5/8
6000	8 3/8	7
6500	5 7/8	5

**TABLA III.1.a Profundidad y Geometría de un pozo**

### **III.3.1 FRECUENCIA DE EMISIÓN DE DESECHOS.**

#### **III.3.1.1 Al Perforar .**

Durante la perforación de un pozo se utilizan diferentes tipos de fluidos de perforación, en las primeras etapas se perfora con fluidos de baja densidad (90 a 95 % de diesel), posteriormente se cambia a fluidos base agua y existe etapas en donde se emplean los lodos de emulsión inversa, su empleo es debido a su contenido de aceites se consideran altamente tóxicos.

TABLA III.1 Caracterización de los Desechos Contaminantes

OPERACIÓN	TIPO DE DESECHO	RITMO PROMEDIO DE GENERACIÓN DE LOS DESECHOS	VOLUMEN POR POZO (M3)	VOLUMEN E.I.* (m3)
PERFORANDO POZO	RECORTE IMPREGNADO DE LODO	6 M3 POR DÍA	1,031	200
VIAJES DE TUBERÍA	FLUIDO DE PERFORACIÓN	50 LITRO POR VIAJE	100	10
CONEXIONES	FLUIDO DE PERF. Y GRASAS LUBRICANTE	20 LITROS CONEXIÓN	50	4.5
CAMBIO DE FLUIDO DE PERFORACIÓN	FLUIDO DE PERFORACIÓN	10 M3 POR CAMBIO	30	10
TRAT. Y ACON. DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN	FLUIDO DE PERFORACIÓN Y ADITIVOS	0.5 M3 POR OPERACIÓN	3	0.5
LIMPIEZA DEL PISO DE PERFORACIÓN	FLUIDO DE PERF. AGUA ACEITOSA Y GRASA LUBRICANTE	100 M3 POR CADA 1,000 M PERFORADOS	600	100
LIMPIEZA DE PRESAS	FLUIDO DE PERFORACIÓN	20 M3 POR LIMPIEZA	60	20
PRUEBA DE T.R., CAB. Y PREVENTORES	FLUIDO DE PERFORACIÓN Y AGUA ACEITOSA	5 M3 POR ETAPA	30	5
CEMENTACIÓN DE T.R.	CEMENTO, FLUIDO RESIDUOS DE METAL	1 M3 POR ETAPA	6	1
ESTIMULACION ÁCIDA	ÁCIDO FLUIDO DE CONTROL AGUA DE FORM. HIDROCARBUROS	20 M3 POR OPERACIÓN	60	NO APLICA
TAPÓN SAL	SALMUERA FLUIDO CONTROL	1 M3 POR OPERACIÓN	4	NO APLICA
NÚCLEO	FLUIDO DE PERF.	4 M3 POR NÚCLEO	16	4
MANT. A MAQUINAS	ACEITE Y GRASA	1 M3 POR MANTENIMIENTO	18	3
TRASLADO Y MANEJO DE MATERIALES	FLUIDO DE PERF. ADITIVOS FLUIDO DE CONTROL CEMENTO	0.5 M3 POR VISITA DE BARCO O CAMIÓN	5	2

\*Volumen generado durante la etapa perforada con fluido base aceite o emulsión inversa

TABLA III.I Clasificación de los desechos contaminantes

Los recortes impregnados toman a su vez el mismo grado de toxicidad que el fluido de perforación que lo moja.

El grado de toxicidad depende del tamaño (diámetro) del agujero que se perfora, de la velocidad de penetración o ritmo de perforación y del tamaño y forma del recorte que genera la barrena.

Para evaluar el ritmo de generación de recorte impregnados de lodo, lo que dará a su vez la frecuencia de emisión de estos, se proponen que al área transversal que formaría la barrena multiplicada por la longitud perforada se le agrega un 10 % debido a formaciones deleznable e irregularidades del agujero y un 30 % por mojabilidad del lodo (total 40 %).

Esta medida de evaluación del volumen del recorte mojado estadísticamente presenta resultados aceptables, dado a que no es posible en la práctica medir en forma exacta el volumen (a boca de pozo).

#### **III.3.1.2 Viajes de Tubería.**

El volumen total de lodo desechado varía a la longitud de la sarta a la superficie, ya que por cada conexión se vierten entre 30 y 60 litros. Si se consideran viajes de 3500 a 6500 m. de profundidad, el volumen vertido puede ser hasta de 10 m<sup>3</sup> en un viaje redondo. Además se incrementa el costo de la perforación, terminación o acondicionamiento del pozo.

#### **III.3.1.3 Conexiones Durante la Perforación.**

El volumen de grasa derramado es aproximadamente el 60% de lo agregado, siendo en promedio 100g. la cantidad untada en la rosca, calculando 60g. vertidos por conexión, en tanto que el de los fluidos se estima en 20 litros por conexión de una mezcla de lodo y grasa lubricante.

#### **III.3.1.4 Cambio del Fluido de Perforación.**

Los volúmenes de desecho varían según las condiciones de drenado de las presas, sistema de bombeo de lodos del barco abastecedor o camión (según sea el caso), capacidad de las presas, entre otros. Estos volúmenes pueden ser de 10m<sup>3</sup> y hasta de 100m<sup>3</sup> cuando no se cuenta con apoyo (del barco o camión), durante cada cambio de lodo.

### **III.3.1.5 Tratamiento y Acondicionamiento de Fluidos.**

Los volúmenes de fluido desechado varían desde 0.5m<sup>3</sup> hasta 40m<sup>3</sup>. Este a su vez es función del tipo y frecuencia del contaminante que altera las características del lodo, siendo mayor cuando es cemento o gases como CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S, los cuales son capaces de romper el sistema y separar las fases, propiciando asentamiento de sólidos, lo que dificulta el proceso y ocasiona que sea mayor el volumen de desecho.

### **III.3.1.6 Limpieza del Equipo y Piso de Perforación.**

Se estima un desecho de 100m<sup>3</sup> de mezcla de aguas aceitosas de limpieza del piso, lodos y grasas, por cada 1,000m. perforados. Esta medida no es confiable, debido a que no es posible determinar cuanto se emplea en limpieza, cada cuando se realiza estas, ni tampoco que tan sucio se encuentra el equipo y piso de perforación.

### **III.3.1.7 Limpieza de Presas.**

El volumen estimado de lodo remanente, ahora convertido en desperdicio es de 20m<sup>3</sup> por limpieza de presas, el cual dependiendo de su formulación y principalmente de su fase continua será su grado de toxicidad, siendo muy alta cuando se trata de fluido base aceite.

### **III.3.1.8 Pruebas de Tubería de Revestimiento y Preventores.**

Se ha estimado un total de 5m<sup>3</sup> generados durante esta operación.

### **III.3.1.9 Introducción y Cementación de Tuberías de Revestimiento.**

Los volúmenes arrojados dependen de la cantidad de cemento remanente depositado en el interior de la T.R., del volumen de lodo que se contamina con cemento y de los residuos metálicos producto de la molienda de la zapata de la T.R., en cada introducción de tubería.

### **III.3.1.10 Mantenimiento a Máquinas.**

Se ha estimado que durante mantenimiento se derraman alrededor de 1 m<sup>3</sup> de aceites.

### **III.3.1.11 Fugas en Conexiones Superficiales.**

No es posible cuantificar el volumen por ser una operación generada en forma imprevista y la magnitud del derrame esta en función del daño, de la rapidez en que se detecte y la eficiencia de controlarlo.

### **III.3.1.12 Estimulación de Pozos.**

Los volúmenes descargados al mar están en función de la cantidad de ácido inyectado, de los fluidos de desplazamiento, de la pureza del hidrocarburo arrojado y de la eficiencia del quemador, se ha estimado un rango de 20 a 100 m<sup>3</sup> de una mezcla de ácido con hidrocarburos y agua de desecho.

### **III.3.1.13 Inducción de Pozo.**

Finalizada la evaluación del volumen del fluido vertido se estimó en 5 m<sup>3</sup> de mezcla de agua de formación, trazas de hidrocarburos y fluido de control durante esta operación.

### **III.3.1.14 Tapones de Sal.**

A manera de cuantificar el volumen del tapón se considera la salmuera sobresaturada colocada frente a la zona de interés, el cual en promedio se estima en 1 m<sup>3</sup>.

### **III.3.1.15 Toma de Núcleos.**

Durante la toma de núcleos, es requerido sacar tubería para obtener el muestreador, en esta práctica se derraman alrededor de 4 m<sup>3</sup> de fluido de perforación en el piso, por muestreo.

### **III.3.1.16 Manejo y Traslado de Materiales.**

los materiales que se generan son las bentonitas, baritas, cementos y otros abastecimientos y la cantidad estimada de derrames por descarga de algún material es de 0.5 m<sup>3</sup> por visita de barco o camión abastecedor.

### III.3.2 VOLÚMENES TOTALES DESECHADOS DURANTE LA PERFORACIÓN DE UN POZO.

Toca el turno de evaluar la cantidad de desecho generado al desarrollar un pozo. Como se menciona se ha considerado un pozo de 6,500 m. de profundidad, con una geometría usual que puede ser encontrada en pozos en México.

De los desechos marcados en la tabla III.2, se ha cuantificado el volumen generado que se vierta al mar o bien a una presa de desperdicios, según sea el caso, por lo que se mencionara el tipo de desecho y cuanto volumen se genera de éste.

TABLA III.2 Residuos Generados Durante las Operaciones de Perforación Reparación y Terminación de pozos.

- \* Recortes de formación impregnados con fluidos de perforación.
- \* Fluidos de perforación.
- \* Aguas aceitosas.
- \* Efluentes provenientes del pozo (agua de formación, hidrocarburos, H<sub>2</sub>S)
- \* Fluidos de control ( durante las intervenciones al pozo)
- \* Salmueras saturadas.
- \* Aceites quemados
- \* Cementos, aditivos y lechadas: agua-cemento-aditivos
- \* Ácidos.
- \* Sedimentos de la formación

Aunque el desecho sea el mismo en diferentes operaciones, por ejemplo el caso del fluido de perforación en limpieza de presas y en cambio de lodo, se analizaran por separado debido a que el mecanismo de control y manejo depende del lugar donde se emite, volumen y frecuencia.

También se incluye el análisis para cuando se emplea fluido de Emulsión Inversa E.I. debido a que se considera tóxico.

En México, se perfora con este tipo de fluido la formación del periodo terciario (lutitas hidratadas e inestables en base agua) empleando barrena de 12 1/4 pg.

### **III.3.2.1 Recortes de Formación.**

Como se puede observar en la tabla III.3 el volumen total de recorte generado por perforar un pozo es de aproximadamente 1,031 m<sup>3</sup>, aunque esta cantidad es muy elevada, en realidad el volumen peligroso es el recorte mojado por fluido de perforación base aceite.

El recorte mojado por fluido base agua, no obtiene el grado de toxicidad que prohíba ser desechado al medio ambiente sin tratamiento especial. Salvo que el recorte contenga elementos no permisibles (mercurio, cadmio, fierro, etc.). El ritmo de generación máxima de recortes con lodo de E.I. (altamente tóxico) en un pozo se estima en 34.2 m<sup>3</sup>/día (perforando a 300 m/día), el ritmo promedio en condiciones medias de perforación (50-60 m/día) es de aproximadamente 6 m<sup>3</sup>/día de recorte impregnado de lodo, estimado un total de 200 m<sup>3</sup> durante la etapa de emulsión inversa.

### **III.3.2.2 Fluido de Perforación por Viajes de Tubería.**

Como se menciona se vierten entre 30 y 60 litros por viaje. En función del número de barrenas que usualmente se emplean, y requerimientos de viaje por problemas como pérdidas, pegadura, conformar agujero, etc., será la cantidad de veces que se mueva la sarta, el volumen factible de desechos es de 100 m<sup>3</sup> de lodo de perforación, durante la vida del pozo. Cuando se emplea emulsión inversa, el volumen estimado es de 10 m<sup>3</sup>.

### **III.3.2.3 Fluido de Perforación y Grasa Sello Lubricante por Conexiones de Tubería.**

Siendo 60g. de grasa de desecho, en cada conexión, en una sarta de 6,500 m. de longitud se generan alrededor de 700 conexiones, con tubos de



TABLA III.3 Geometría del agujero

No. de la etapa	Diam. de barrena	Diam. de TR.	Prof. final de etapa	Long. de etapa	Area del agujero	Vol. de agujero cons. diam. de bna.	10% más de vol. de agujero por form. desleznables	30% más de vol. por recorte mojado	Tipo de fluido empleado	Fase continua del fluido empleado
	(pg)	(pg)	(m)	(m)	(m2)	(m3)	(m3)	(m3)		DE LODO
1	36	30	300.00	300.00	0.66	197.01	216.71	281.72	BENTONITICO	AGUA
2	26	20	1,000.00	700.00	0.34	239.77	263.75	342.88	BENTONITICO	AGUA
3	17 1/2	13 3/8	3,000.00	2,000.00	0.16	310.36	341.39	443.81	CLSE	?
4	12	9 5/8	5,000.00	2,000.00	0.07	145.93	160.53	208.68	EI	ACEITE
5	8 3/8	7	6,000.00	1,000.00	0.04	35.54	39.09	50.82	THERMADRILL	?
6	5 7/8	5	6,500.00	500.00	0.02	8.74	9.62	12.50	THERMADRILL	?
total				6,500.00		937.36	1,031.10	1,340.42		

9 m. lo que arroja 42kg. de grasas (aproximadamente dos latas de 20 litros), la longitud de 6,500 m. es la última por tanto son cantidades menores las ocupadas en cada armada de tubería. Cabe recordar que cuando se saca y mete la tubería se mueve en lingadas de tres tubos y que cuando se adiciona un nuevo tubo este será parte permanente de la sarta. El total estimado es de 10 latas por pozo de grasa de desecho, que en volumen ocupa aproximadamente 0.2m<sup>3</sup>.

En cuanto a fluidos de perforación desechados en estas operaciones durante el desarrollo del pozo se estima en 50m<sup>3</sup>, de los cuales a la etapa perforada con emulsión inversa le corresponden 4.5 m<sup>3</sup>.

#### **III.3.2.4 Fluido de Perforación en el Cambio de Lodo.**

El número de cambio de fluido de perforación considerado es de tres, ocasionando un total estimado del 30 m<sup>3</sup> de lodo desechado, en el cambio de emulsión inversa a lodo base agua es de 10 m<sup>3</sup>.

#### **III.3.2.5 Fluido de Perforación Durante el Tratamiento y Acondicionamiento.**

Como esta operación se realiza en función de las condiciones de la formación y las etapas del pozo, se ha considerado un promedio de seis tratamientos; por lo tanto el volumen estimado durante el desarrollo del pozo es de 3 m<sup>3</sup>. Cuando se emplea E.I. se realiza un acondicionamiento al fluido el cual se ha evaluado en 0.5 m<sup>3</sup> de lodo de desecho.

#### **III.3.2.6 Mezcla de Fluido de Perforación con Aguas Aceitosas y Grasas Lubricantes Desechables Durante la Limpieza del Equipo y Piso de Perforación.**

Se estima que en un pozo de la profundidad considerada se generan hasta 600 m<sup>3</sup> de la mezcla descrita, para el caso de uso de emulsión inversa se tiene 100 m<sup>3</sup> de este desecho.

### **III.3.2.7 Fluido de Perforación en la Limpieza de Presas.**

Si en tres ocasiones se realiza el cambio de lodo son las mismas que se requiere de limpieza de presas. El volumen estimado es de 60 m<sup>3</sup> de lodo de desecho para terminar el pozo, de estos, 20 m<sup>3</sup> son de fluido base aceite.

### **III.3.2.8 Fluido de Perforación Desechado en Pruebas a Preventores.**

En cada etapa se instalan cabezales y prueban preventores, aun pozo de seis etapas con las que cuentan el pozo tipo del estudio será de 30 m<sup>3</sup> de fluido desechado. Para la etapa de E.I. se calcula 5 m<sup>3</sup> de lodo.

### **III.3.2.9 Mezcla de Cemento, Fluido de Perforación y Residuos de Metal en la Introducción y Cementación de T.R.**

El volumen estimado de mezcla de cemento molido, metal de la zapata de la T.R. y lodo de perforación es de 6 m<sup>3</sup> de desecho, en el caso de fluido de E.I. le corresponde 1 m<sup>3</sup>.

### **III.3.2.10 Aceites y Grasas en los Mantenimientos a Máquinas.**

A lo largo de la vida del pozo se realizan dos o tres mantenimientos a la maquinaria por etapa, siendo un total de 18 m<sup>3</sup> de este desecho estimado. Para la etapa de E.I. son 3 m<sup>3</sup> de aceites y grasas generadas como desecho.

### **III.3.2.11 Mezcla de Ácidos con Hidrocarburos y Agua de la Formación en Estimulación de Pozos.**

Por estimulación se vierten 20 m<sup>3</sup> de ácidos con trazas de hidrocarburos, si se realizan en la vida del pozo tres estimulaciones es volumen es de 60 m<sup>3</sup>.

### **III.3.2.12 Mezcla de Fluido de Control y Fluidos de la Formación en la Inducción del Pozo.**

En cada intervención al pozo se realiza una inducción, así como en el inicio a producción. Estimando tres operaciones por vida del pozo mas la inicial se calcula en 20 m<sup>3</sup> la mezcla de desecho.

### **III.3.2.13 Salmuera de Desecho en Taponamiento con Sal.**

Los tapones con sal promedio por pozo colocados son tres o cuatro, el volumen de salmuera total de desecho es 4 m<sup>3</sup>.

### **III.3.2.14 Fluidos de Perforación en la Toma de Núcleos.**

Esta operación se realiza en pozos exploratorios generalmente, el número de núcleos que se cortan se determina en función de las formaciones de interés y no es posible determinar un promedio. Para este estudio se ha considerado cuatro tomas de muestras de la formación lo que da un total de 16 m<sup>3</sup> de lodo de desecho, según la frecuencia de este desecho marcada en el inciso anterior.

### **III.3.2.15 Desechos de Material Abastecido a los Pozos.**

Considerando en toda la vida del pozo nueve o diez visitas de los barcos a plataforma o camiones en tierra, se calcula un total de 5 m<sup>3</sup> de estos materiales como desechados.

### III.3.3 EVALUACIÓN DEL GRADO RELATIVO DE TOXICIDAD.

La toxicidad del desecho se considerara, para este estudio, en función de los límites permisibles de vertimiento, ya sea al mar o a una presa de desperdicios. Los desechos emitidos durante las operaciones de perforación, reparación y terminación de un pozo petrolero son los siguientes:

- Fluidos de Perforación.
- Recortes de la Formación Impregnados de Lodo de Perforación.
- Aceites y Grasas Lubricantes.
- Aguas Aceitosas.
- Mezcla de Cemento, Lodo y Metales Triturados.
- Mezcla de Ácido y Fluido de Control.
- Salmueras.
- Polvos (Bentonitas, Baritas, Cementos, etc.).

Se puede decir que todos estos elementos son contaminantes en diferentes grados, dependiendo de las concentraciones, volúmenes, frecuencias de emisión y tiempo de degradación será el grado de afectación al medio ambiente.

#### III.3.3.1 Fluidos de Perforación.

Por tradición el fluido de perforación en su forma básica ha sido una serie de arcillas (bentonita, barita, etc.) diluidas en agua, de ahí su nombre coloquial de "lodo", dado las propiedades reológicas que de él se requieren es necesario la adición de un gran número de elementos. Para tener un comportamiento de mojabilidad directo o inverso según se requiera o incluso la eliminación de los tradicionales agentes que le proporcionan viscosidad y tixotropía como es el cambio de bentonita a polímeros, por tanto un simple "lodo" se transforma a todo un sistema reológico.

Como no es posible la supervisión de cada componente y sobre todo la evaluación del grado de toxicidad por separado y después su reacción integrado al fluido, es requerido por tanto determinar la toxicidad del sistema en general.

Como primer medida, se considera a todo fluido de perforación, reparación y terminación, cuya fase continua sea el aceite (emulsión inversa), que contenga diesel o bien sea preparado con aceites usados en la lubricación de maquinaria como tóxico y se prohíbe su vertimiento al mar, río, lagunas y demás caudales así como su disposición en una presa de desperdicios usuales en los equipos terrestres.

En cuanto a los fluidos de perforación base agua, estos contienen elementos que por si solos pueden ser muy peligrosos (como es el caso del cromolignosulfonato, el diesel, etc.), si se emiten al medio ambiente, pero por las cantidades y disoluciones una vez adheridos al sistema es posible que ya no sean tan dañinos o que estén dentro del límite aceptable. Esto es debido a que la evaluación de toxicidad se realiza con pruebas de volúmenes de solución, como es el caso de la prueba del bioensayo o LC50, si medimos el componente en forma independiente no pasaría, pero al ser diluido en grandes volúmenes sus efectos son reducidos y como un sistema en prueba.

La prueba de bioensayo o LC50, consiste en medir el porcentaje de mortandad de seres vivos, por ejemplo; larvas de camarón, en contacto con el contaminante, cabe mencionar que se determinan grados de concentración y tiempos de exposición (no esta dentro del alcance del estudio la descripción detallada de esta prueba), se ha adoptado como la medida para determinar el grado de toxicidad de los lodos de perforación, y de ahí catalogarlos como peligrosos, considerando el código CRETIB se ha utilizado el concepto de toxicidad únicamente, los demás conceptos son mas difíciles de evaluar.

Para aquellos fluidos que al realizarles la prueba LC50 obtengan una toxicidad menor o igual a 30,000 p.p.m. en base a la fase de sólidos suspendidos se consideran como peligrosos y al igual que los base aceite se prohíbe su vertimiento al medio ambiente.

Cuando los fluidos de perforación, reparación y terminación de pozos exentos de los lineamientos enunciados en los párrafos anteriores el límite permitido de descarga no deberá exceder los 150 m<sup>3</sup>/hr, en la descarga si se trata de caudales (mar, ríos, lagos, etc.), en terrenos se recomienda compactar estos y de ser posible impermeabilizar para evitar filtraciones durante el proceso de degradación del fluido.

### **III.3.3.2 Recortes de la Formación.**

El volumen total de recortes de la formación impregnados de fluidos de perforación es elevado (hasta 1,340 m<sup>3</sup>), este recorte por si solo es roca de la formación que si no contiene elementos tóxicos como cadmio, fierro, zinc, etc., (los cuales son poco comunes en rocas sedimentarias) se podría considerar como no dañino al medio ambiente.

Sin embargo, al estar mojado por el fluido de perforación automáticamente adopta el mismo grado de toxicidad y por lo tanto adquiere las mismas limitaciones, prohibiéndose la descarga al medio ambiente de los recortes generados con fluidos de perforación de los mencionados.

### **III.3.3.3 Aceites y Grasas Lubricantes.**

Todos los aceites, grasas lubricantes e hidrocarburos en general, así como metales pesados, mercurio y compuestos de mercurio, plásticos y compuestos orgánicos halógenos, se catalogan como productos tóxicos y se prohíbe el vertimiento de ellos al medio ambiente.

Salvo que tengan transformación rápida en el ecosistema o sean parte de sustancias inocuas mediante procesos físicos, químicos y biológicos, y no pongan en peligro la salud del hombre y animales (comestibles o no comestibles).

### **III.3.3.4 Aguas Aceitosas.**

Las aguas aceitosas no se permitirá descargarlas en el mar o caudales si exceden una concentración límite de grasa y aceite en la descarga de 72 mg/l. para cualquier día y 48 mg/l. como promedio en 30 días consecutivos.

No se permite su disposición en una presa de desperdicios de las usuales en los pozos petroleros en tierra.

#### **III.3.3.5 Mezcla de Cemento, Lodo y Metales Triturados.**

La mezcla de cemento, lodo y metales al igual que los productos anteriores no se permite el vertimiento al medio ambiente por considerarse tóxicos, dado principalmente al metal triturado y además si el lodo es tóxico empeora la situación.

#### **III.3.3.6 Mezcla de Ácido y Fluido de Control.**

Siempre y cuando en baja concentración el ácido (o desgastado), que los fluidos de la formación no sean hidrocarburos y que los ácidos y álcalis no contengan sustancias como berilio, cromo, níquel vanadio y sus compuestos se permitirá vertirlos en corrientes (mar, ríos, etc.) monitoreando las descargas. En caso contrario a esta mezcla se le considera tóxica prohibiendo su descarga. No se permite su disposición en una presa de desperdicios de las usuales en equipos terrestres.

#### **III.3.3.7 Salmuera.**

Siempre y cuando no contengan elementos de los antes mencionados como prohibidos y su concentración sea menor a la saturación es factible su desecho en caudales y en el mar, monitoreando y registrando los volúmenes de emisión.

#### **III.3.3.8 Polvos.**

Deben evitarse en su totalidad la emisión de polvos (cementos, baritas, bentonitas, etc.) en las zonas de trabajo, poblados, sembradíos, pastizales, etc. Por tanto el manejo de estos productos debe ser estricto y con el mecanismo adecuado que evite su emisión.

Prácticamente todos los desechos generados y emitidos en los equipos de perforación, reparación y terminación de pozos se han catalogado dentro de un rango de toxicidad prohibitiva.



Las presa de desperdicios que se han utilizado en los equipos terrestres quedan obsoletas e inútil su uso, por lo que ya no es aceptable tenerlas, orillando a procesos de tratamiento y disposición de desechos. En mar no se permitirá verter ningún desecho peligroso, por tanto adoptan procesos de tratamiento de desechos en plataformas o se transporta a lugares para ello.

### III.3.4 JERARQUIZACIÓN DE LOS DESECHOS.

Una vez detectados los residuos contaminantes caracterizados según la operación en donde es generado, en primer lugar el grado relativo de toxicidad y el volumen producido. Para realizar esto se ha considerado en primer lugar el grado relativo de toxicidad y el volumen producido. Se procede ahora a clasificar el desecho según el impacto ecológico que este tiene (tabla III.4).

TABLA III.4 Jerarquizacion de los desechos contaminantes.

DERRAME	VOLUMEN M3
Recortes impregnados de fluido de perforación tóxicos.	175
Fluido de perforación tóxico derramado en el piso de perforación.	125
Derrames emitidos durante la estimulación de un pozo.	50
Fluido de perforación tóxico derramado durante el cambio de lodo.	40
fluidos aceitosos derramados durante el mantenimiento de maquinas y bombas.	9
traslado y manejo de materiales.	5

#### III.3.4.1 Recortes Impregnados de Fluido de Perforación Tóxicos.

Indudablemente debido al alto volumen que se genera y por ser catalogado el fluido de perforación base aceite como altamente tóxico, son los recortes de formación extraídos del pozo impregnados de lodo de emulsión inversa los desechos mas dañinos y quienes mayor impacto ecológico generan al ser vertidos al mar.

Para poder visualizar la cantidad de recortes, consideremos un pozo tipo en el cual se utiliza fluido base aceite para perforar cierta etapa, con barrena de 12 1/4" de diámetro, se pueden generar aproximadamente 175 m3 de recortes mojados de aceite.

### **III.3.4.2 Fluido de Perforación Derramado en el Piso de Perforación.**

Durante los viajes de tubería y las conexiones de nuevos tubos para continuar perforando, se vierten sobre el piso de perforación grandes cantidades de lodo, al proceder a limpiarlo se utilizan chorros de fluido (agua o diesel dependiendo de la fase continua del lodo), lo cual se convierte en un desecho difícil de manejar y en plataformas es usual que se canalice a los drenajes pluviales y se vierta al medio ambiente.

Cuando se utiliza lodo base aceite o emulsión inversa, el grado de toxicidad del desecho es alto y no es aceptable su disposición sin tratamiento alguno.

Debido al volumen que puede generarse durante esta acción (estimado en 125 m<sup>3</sup>) se ha catalogado como el derrame contaminante que después de los recortes impregnados de lodo de E.I. ocupan el mas alto grado de contaminación que se vierten al mar.

### **III.3.4.3 Derrames Emitidos Durante la Estimulación e Inducción de un Pozo.**

Dentro de la clasificación de derrames peligrosos se ha catalogado a los efluentes emitidos durante las operaciones de estimulación e inducción de pozos como los terceros en grado de efecto dañino.

Durante estas operaciones el pozo arroja productos ácidos gastados, fluidos de control, salmueras, hidrocarburos, sedimentos, etc., los cuales muchas veces no logran ser quemados debido a ser poco flamables, pero principalmente a la carencia de atomización de los fluidos por baja eficiencia del equipo de quemado.

Se ha estimado que en conjunto de operaciones efectuadas durante estimulaciones e inducciones se vierten al mar aproximadamente 50 m<sup>3</sup> de residuos que contienen las sustancias previamente mencionadas.

#### **III.3.4.4 Fluido de Perforación Derramado Durante el Cambio de Lodo, Lavado de Presas y Acondicionamiento de Lodo.**

Al realizar el cambio de lodo de una fase a otra y el lavado de las presas, debido a las dificultades de las maniobras, a carencia de drenes adecuados en las presas, a las capacidades disponibles en el barco lodero e incluso a negligencias, se derrama gran cantidad de fluido de perforación.

Cuando estos derrames son de lodos base aceite la importancia aumenta debido a su efecto dañino; por lo cual se ha catalogado ha estos vertimientos como los que ocupan el cuarto lugar en peligrosidad de los derrames emitidos en una plataforma de perforación.

El volumen estimado de lodo base aceite que se vierte durante estas operaciones es de aproximadamente 40 m<sup>3</sup>.

#### **III.3.4.5 Fluidos Aceitosos Derramados Durante el Mantenimiento y Reparación de Máquinas y Bombas.**

Debido a que toda la maquinaria del equipo de perforación, así como las bombas de lodos necesitan aceites lubricantes para su correcta función, y este se desgasta con el uso, es requerido el cambio del mismo. Aunque se recoge el aceite desgastado y se embaza para su traslado parte se derrama a los pisos y fluye por los drenajes pluviales.

Las bombas de lodo, al darles servicio de reparación (cambio de pistones, camisas, etc.) derraman lodo al abrir las carcazas, si este es de emulsión inversa es altamente tóxico, muchas ocasiones no se controla el flujo y es vertido en los drenajes que desembocan al mar. El volumen que se vierte ha sido estimado en 9 m<sup>3</sup> de aceites, por tanto ocupan el quinto puesto en importancia de los desechos dañinos a controlar.

#### **III.3.4.6 Traslado y Manejo de Materiales.**

Durante el abastecimiento de materiales (ácidos, cemento, aditivos, lodo, etc.), en las descargas y aprovisionamientos se derraman parte de estos.

Dependiendo del tipo de desperdicio y el volumen será el grado de contaminación, siendo mayores cuando los derrames son de lodos base aceite (aunque el ácido es peligroso se tiene bastante cuidado en su manejo por lo mismo y prácticamente no existe derrames en su traslado). El volumen estimado de residuos durante estas operaciones es de 5 m<sup>3</sup>, por lo cual se han considerado dentro de los desechos peligrosos a controlar, ocupando el sexto lugar.

# IV

## DESCRIPCIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL CONTROL, MANEJO Y DISPOSICIÓN DE LOS CONTAMINANTES

Dentro de las actividades de la industria petrolera, la que genera una mayor cantidad de desperdicios contaminantes es la perforación, tanto por el volumen de desperdicios, como por la toxicidad de los mismos. Cabe mencionar que los desperdicios mencionados son los recortes y fluidos de perforación que se generan por utilizar lodos base aceite.

### IV.1 RECORTES DE PERFORACIÓN.

Las alternativas que se presentan para el manejo de los desperdicios de perforación son las siguientes:

- Transporte y transformación de los recortes en tierra .
- Transporte e inyección de recortes de formación en un pozo en tierra.
- Transporte y procesamiento de recortes en tierra.
- Procesamiento de recortes en plataforma.
- Inyección de recortes a la formación en otro pozo marino

Estas alternativas que se presentan son tanto para pozos marinos como para pozos terrestres y las áreas donde pueden ser catalogada las técnicas de proceso y disposición son:

1) INYECCIÓN

2) LAVADO

Estas técnicas han sido empleadas en la industria petrolera con buenos resultados, pero el inclinarse por una de estas opciones esta en función de la situación que se presenta, disponibilidad y sobre todo costo.

#### IV.1.2 Inyección de los Desperdicio

Como es sabido el fluido de perforación, recorre un circuito que va de la bomba de succión de lodo de una presa y es inyectado al interior de la tubería, pasa por la toberas de la barrena, y regresa a través del espacio anular, descargando en una malla vibradora que separa los recortes y cae a la presa de asentamiento para así completar el ciclo; el cual no es cerrado ya que el recorte no retorna a la formación, la manera de lograr esto es inyectando el recorte y así eliminar toda responsabilidad de limpieza en el área al no producirse contaminación y en consecuencia no se genera un impacto al medio ambiente.

La inyección de los desperdicios es un mecanismo de disposición de los recortes aceitosos, generados por el uso de lodos base aceite en operaciones de perforación, eliminando así las descargas al ambiente, para el caso de las plataformas se minimizan también los requerimientos de transporte y tratamiento terrestre ya que podemos procesarlos en la misma plataforma e inyectarlos en un pozo de inyección marino; teniendo también la opción de ser transportados e inyectados en tierra.

la inyección de recortes a la formación en el mismo pozo, es eliminada técnicamente para pozos marinos de desarrollo, debido a que durante la inyección existe la posibilidad de interacción con otros pozos perforados en la plataforma. Sin embargo para pozos exploratorios es una alternativa aceptable.

El proceso para inyectar los recortes es :

➤ Selección del intervalo: Con ayuda e un análisis litológico, se eligira un intervalo adecuado el cual además de tener una porosidad y permeabilidad que permita la admisión de fluidos, requerirá que sus fronteras sean una capa sello para evitar el movimiento vertical del flujo.

⇒ Diseño del pozo: Como en cualquier pozo, el de inyección requiere de un diseño, por lo que será necesario conocer los gradientes de presión de formación y fractura del intervalo seleccionado; así como la realización de pruebas de admisión para determinar la presión a la que la formación vence su esfuerzo.

⇒ Transformación e inyección del recorte: Como se menciono los recortes son separados del fluido de perforación con ayuda de las temblorinas, estos recortes deben ser sometidos a un proceso que permita su inyección, y esto se logra transformando los recortes en una lechada que puede ser fácilmente bombeada.

#### IV.1.2.1 Selección del Intervalo.

El intervalo que recibirá nuestra lechada de desperdicios, debe permitir el desplazamiento horizontal de fluido por lo que debe tener una permeabilidad y porosidad horizontal necesarias; además de contar con fronteras de muy baja permeabilidad o nula que impidan el desplazamiento vertical.

En México un claro ejemplo de estas condiciones se encuentra en la región marina de la sonda de Campeche, la zona que contiene hidrocarburos, se presenta después del periodo conocido como brecha. Tabla (IV.1 ); en formaciones más profundas al mesozoico, son totalmente carentes de petróleo, la formación factible la encontramos dentro del cretáceo.

El programa general de fluidos para la perforación de esta zona, consiste en el empleo de sistema base agua para el periodo cuaternario. Fluido base aceite para el periodo terciario, donde encontramos lutitas hidratables e inestables en base agua, posteriormente continuamos con fluido base agua.

Los recortes, así como el fluido generados en el periodo terciario son los susceptibles a inyectar. En el periodo cuaternario encontramos el Pleistoceno, donde se tiene una formación de lutitas con capas de arena, esta formación es apropiada ya que cuenta con franjas de arena con porosidad y permeabilidad que permiten la inyección de la lechada, así como franjas de lutitas que servirán como roca sello.



En el pozo Taratunich 101 se empleó con éxito el sistema de circuito cerrado (Inyección de desperdicios ); durante la perforación del terciario, se emplearon fluidos base aceite y la formación receptora de estos desperdicios fue paraje solo, ya que su contenido de arenas permite que sea una formación receptora y las capas de lutitas permiten el sello requerido como frontera impermeable, la profundidad a la que encontramos esta formación, es de mas 700 m. y no se tendrán problemas con los acuíferos someros.

#### **IV.1.2.2 Diseño del Pozo**

Como cualquier pozo, se requiere un diseño y un planeación para su perforación, ya que cálculos erróneos provocarán operaciones inadecuadas, reduciendo en posibles problemas en la inyección del recorte, incluso la inutilidad del proceso.

Los aspectos fundamentales para el diseño del pozo son:

- a) Determinación de los gradientes de presión de formación y fractura.
- b) Diseño de la profundidad de asentamiento de la tuberías de revestimiento.
- c) Diseño de la cementación.

La apropiada determinación de los gradientes de presión de formación y fractura permitirán diseñar correctamente las profundidades de asentamiento de las tuberías de revestimiento (TR) así como la correcta y eficiente cementación de estas, evitando con esto posibles canalizaciones de fluido ( lechada de recortes ) a través de las paredes del pozo.

##### **IV.1.2.2.1 Determinación de los gradientes de presión de formación y fractura.**

Con el uso de correlaciones o con mediciones directas en pozos vecinos, podemos determinar las presiones de formación y fractura; es fundamental su conocimiento para la zona donde se planea la inyección, en especial el gradiente de fractura. por lo que se requerirá efectuar pruebas de admisión y conocer a detalle la presión a la cual a la roca se le vence su esfuerzo mínimo de cedencia.

FORMACIÓN	ÉPOCA	PERIODO	ERA	
ARENAS Y LUTITAS	RECIENTE	CUATERNARIO	C E N O Z O I C A	
	PLEISTOCENO			
LUTITAS	PLIOCENO	TERCIARIO		
	MIOCENO			
	OLIGOCENO			
	EOCENO			
LUTITAS Y CALCARENITAS	PALEOCENO	CRETACICO		
BRECHAS CALCARIAS	SUPERIOR			
DOLOMITAS	MEDIO			
CALIZAS	INFERIOR			
ARENICAS, LUTITAS LIMOLITAS, CALIZAS Y DOLOMITAS	SUPERIOR	JURÁSICO	M E S O Z O I C A	
	MEDIO			
	INFERIOR	TRÍA		
		PERMICO		P A L E O Z O I C A
		PRECAMBRICO		

**Formación productora de hidrocarburos**

**TABLA IV.1 Formaciones y litología de la sonda de campeche.**

#### **IV.1.2.2.2 Diseño de la profundidad de asentamiento de la TR**

Mediante el empleo de los gradientes de presión de formación y fractura, se determina la profundidad a la cual deben ser cementadas tuberías de revestimiento que aislen las formaciones y mantengan el control del pozo.

Es requerido que la tubería superficial, por ejemplo para la sonda de Campeche, sea asentada en el pleistoceno, con el fin de controlar zonas someras ( acuíferos superficiales ) de formaciones deleznable. Esto permite el acceso a lutitas y arenas encontradas en esta formación, usualmente la tubería colocada como superficial es de 20", la primer TR intermedia es de 13 3/8", es en el espacio anular de 20-13 3/8" por donde se inyecta la lechada de recortes.

#### **IV.1.2.2.3 Diseño de la cementación.**

El diseño de la cementación de un pozo consiste en determinar el volumen de cemento adecuado, las condiciones de operación y las características y propiedades del cemento.

Para el proceso del circuito cerrado durante la perforación es fundamental la perfecta cementación de la tubería de revestimiento superficial ( 20" ), para evitar posible canalización de la lechada de recortes a través de la pared del pozo y la TR.

La altura del cemento de la primera TR intermedia 13 3/8" debe quedar bajo la zapata de la TR superficial 20" a una distancia de 500 a 700 m que será la zona en donde se inyecta la lechada de recorte.

Además, la tubería debe de estar perfectamente adherida a la formación para evitar comunicación a la formación inferior impidiendo tanto el flujo de la lechada hacia abajo como de fluidos de zonas inferiores de inyección, el cemento seleccionado deberá presentar correcto tiempo de fraguado, alta resistencia y perfecta compatibilidad con la formación, esto para garantizar la correcta adhesión de las tuberías con las paredes del pozo.

Como se menciona es necesario hacer una prueba de admisión en la zona de inyección, para determinar la presión a la cual se deberá impulsar la lechada de recortes.

#### IV.1.2.3 Tratamiento del recorte.

Los recortes generados por el uso de un lodo base aceite deben de ser sometidos a una transformación para poder ser inyectados a la formación, esta consiste en convertirlos en una lechada, que pueda ser desplazada con las bombas con que se cuenta en el equipo de perforación; esta lechada se inyectara a la formación seleccionada (fig. IV.1.).

El equipo para la transformación de la lechada consiste básicamente en:

- Canal de transporte de recorte
- Presa de disolución ( tanque 1 )
- Presa de tratamiento y de succión ( tanque 2 )
- Bomba de diafragma de circulación.
- Bomba triplex de inyección.

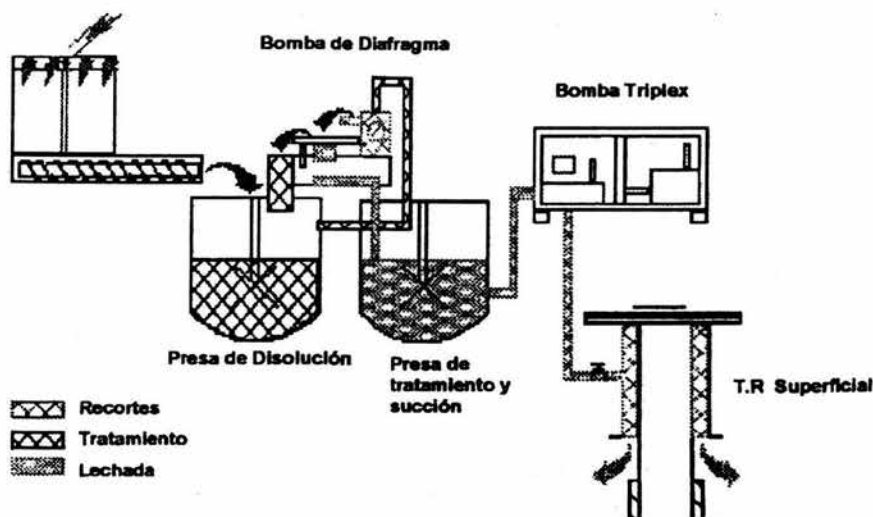


FIG. IV.1. Técnica de inyección de los recortes

De acuerdo con la figura, el recorte se coloca en un canal de transporte, que puede ser movido mediante un alto desnivel o si es requerido impulsar, se coloca dentro un tornillo sin fin que empuje y mueva el contenido hacia la presa de disolución; llegando a esta, se encuentra con un agitador que realiza la primera etapa de disolución del recorte, agregándole agua y agitándolo. Una vez concluida esta primera etapa, la mezcla es seccionada por una bomba centrífuga de diafragma la cual internamente con alabes de carburo de tungsteno tritura y muele el recorte formando la lechada, la descarga de esta se conecta al tanque o presa de tratamiento y succión, antes de ser descargados pasan a través de una temblorina o malla vibradora que separa los recortes que no han sido triturados vertiéndolos al tanque de disolución para su recirculación. En la presa de tratamiento se instala un agitador que mantenga en movimiento la lechada para que se le puedan agregar según se requiera bentonita para darle consistencia y propiedades tixotrópicas. Con ayuda de una bomba triplex se succiona la lechada del tanque de tratamiento y se introduce a través del cabezal de la TR superficial al espacio anular para su inyección a la formación, de esta manera se cierra el ciclo. Es conveniente que se cuente con un canal de transporte similar al descrito en la carga del equipo de eliminación de sólidos del fluido de perforación y se conecte al sistema de tratado de recorte, así como canales de drene en el piso del equipo de perforación y que todos los derrames de lodos, aguas, aceites etc. fluyan al tanque de disolución para proceder a su inyección a la formación. Todo desecho generado durante la perforación se puede canalizar al sistema de tratamiento y así poder proceder a su inyección, reduciendo de esta manera los desperdicios contaminantes de este proceso.

#### **IV.1.3 Técnicas de Lavado de los Recortes.**

Como ya se ha mencionado la utilización de lodos base aceite genera recortes impregnados del mismo fluido, la inyección de esto permite al mismo tiempo la inyección del mismo fluido, pero se puede presentar que solo se requiera eliminar el recorte, para esta situación se puede echar mano al lavado del recorte que también es un proceso que permite minimizar el impacto al ambiente, para un adecuado lavado de los recortes se contemplan tres etapas:

- Lavado del recorte
- Separación líquido-sólido
- Separación sólido-agua-aceite

#### **IV.1.3.1 Lavado del recorte.**

Los sólidos generados durante el proceso de perforación, entiéndase recortes y productos enviados al equipo de control de sólidos del lodo, se canalizan a la parte inicial del proceso, el cual está compuesto de un tambor lavador, donde los recortes son movilizadores por medio de una solución lavadora que puede estar compuesta de 95% de agua y 5% de detergente surfactante o bien un solvente, esto para iniciar el proceso de limpieza mediante el contacto de los recortes con el líquido. El tambor lavador mantiene un movimiento rotacional ( 10 - 25 R.P.M. dependiendo de la necesidad) y separa a los recortes de aceite impregnado, el tiempo de contacto de la solución lavadora con los recortes depende del grado de aceite, recorte y producto lavador (2-5 min. ).

En la descarga del tambor se coloca una criba o temblorina , en la cual son detenidos y secados los sólidos ( recorte limpio ), el fluido por gravedad pasa a través de la criba, es decir se encuentra con cierto grado de desgaste, aceites separados del recorte y sólidos finos no detenidos por la criba ( menores de 117 micras ). Para que este proceso sea eficiente los recortes limpios no deben tener un contenido mayor del 10% en peso de aceite ( que es la norma marcada ) y se deben separar entre 85 - 90% de los sólidos totales. La solución lavadora puede ser un surfactante y el fabricante deberá especificar claramente las características de éste, su efecto al contacto con la piel, ojos, nariz así como las recomendaciones para su manejo.

#### **IV.1.3.2 Separación líquido-sólido.**

La mezcla de fluidos resultante de la primera parte del proceso de lavado, requiere de una separación bifásica líquido-sólido para eliminar los sólidos finos que no fueron retenidos por la criba, esta eliminación se logra

haciendo circular la mezcla a través de un separador centrifugo de 2 fases y se eliminan sólidos de hasta 5 micras. El sólido así separado se vierte, cabe aclarar que debido a su tamaño la superficie global de contacto es muy alta por consiguiente el porcentaje de aceites impregnados ( hasta 10-12 % ) en peso, como el volumen de sólidos no es alto y combinado con el del recorte, la concentración en peso total, no excede a la norma estipulada.

#### **IV.1.3.3 Separación de sólidos-agua-aceite**

Como resultado de la segunda etapa de separación la fase líquida resultante es una mezcla de solución lavadora, aceite, sólidos ultra finos y emulsiones; esta se hace pasar por un separador trifásico de acción centrifuga eliminando los sólidos y separando aceites y aguas. El sólido se vierte y el aceite puede reutilizarse o bien almacenar para su traslado o disposición, las aguas obtenidas del proceso son solución lavadora con un grado de desgaste, estas se pueden dirigir al inicio el proceso para continuar su acción hasta que estén totalmente desgastadas.

Para poder hablar de eficacia de este proceso se debe tener en cuenta no exceder en combinación total el 10 % de aceite en los sólidos y el producto de desecho que es el aceite en caso de no ser reutilizado se enviara a disposición.

## **IV.2 FLUIDOS DE PERFORACIÓN.**

La relevancia mundial que ha adquirido la protección del medio ambiente ha hecho difícil la formulación de fluidos no tóxicos capaces de enfrentar los problemas que se encuentra durante las operaciones de perforación. Las restricciones para el uso de productos tóxicos, han sido adoptadas por los diferentes países, dictándose reglamentaciones específicas para el cuidado de las especies que habitan en esas áreas.

### **IV.2.1 empleo de productos tóxicos.**

Desde los inicios de la perforación de los pozos petroleros, los fluidos de perforación se han utilizado desde simples lodos naturales a base de agua y arcilla de la propia formación, hasta el desarrollo de productos específicos para solucionar los problemas que se presenten durante el proceso de perforación.

Al tenerse pozos mas profundos, los gradientes de temperatura son mayores, por lo que fue necesario el empleo de metales pesados en los fluidos base agua para darles mayor estabilidad térmica; en esta forma, los sistemas cromolignosulfonatos fueron eficientes, prestando un gran servicio por largo tiempo a la industria petrolera. Sin embargo, estudios de toxicidad efectuados a estos, demostraron los daños permanentes que causan a la ecología por las mutaciones a los organismos.

La creciente demanda tecnológica para perforar eficientemente pozos de ángulo elevado con lutitas del terciario altamente reactivas al agua y la presencia de contaminantes severos como CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, Asfalto, Doms Salinos, etc., hizo necesario la formulación de sistemas base diesel y de productos asfálticos que mantuviesen un fluido estable.

Sin embargo, la creciente sensibilidad en materia del medio ambiente por parte de la industria petrolera y las nuevas regulaciones Gubernamentales, han erradicado el uso de metales pesados y se han restringido el uso de lodos de emulsión inversa fundamentalmente por:

- a ) La toxicidad aguda de estos fluidos que retienen su alto contenido de hidrocarburos petrogenicos.



b ) La falta de Biodegradabilidad anaerobica.

Por otra parte, las proyecciones económicas que contemplan el uso de lodos base agua no tóxico, indican que los costos de perforación podrían incrementarse en ciertas áreas, a la sensibilidad de estos fluidos a los contaminantes mencionados. Por lo que en caso de requerirse fluidos contaminantes, se incorporan equipos y métodos que eliminan el impacto ambiental.

**IV.2.2 Uso de productos no tóxicos-Biodegradables que cumplen con la prueba de Toxicidad LC-50.**

Con objeto de asegurar el cuidado del medio ambiente, se estableció como requisito en la adquisición de los productos químicos para fluidos de perforación, la aplicación de la prueba de toxicidad LC-50, cuyo cumplimiento asegura la protección al ambiente marino.

Esta prueba consiste en simular las descargas reales de desechos al mar, para verificar el efecto que se ocasionan en los organismos y consiste en mezclar una parte del fluido de perforación con nueve partes de agua de mar, se adicionan larvas vivas de especies marinas, de preferencia de las áreas donde se van a efectuar las descargas y se mide el efecto del fluido en un periodo de 96 hr. Los valores mínimos permitidos para ser autorizada la descarga al mar, debe de ser de 30,000 ppm.

### IV.3 DESECHOS PRODUCIDOS EN EL ENTORNO DEL EQUIPO DE PERFORACIÓN

Uno de los principales problemas a que se enfrentan las compañías perforadoras es la disposición de los desechos contaminantes, sobre todo cuando se utiliza fluidos de perforación base aceite, ya que las aguas producidas estarán en contacto con estos fluidos produciendo las aguas aceitosas. Estas tienen que ser recolectadas adecuadamente para darles un tratamiento de eliminación de aceite para cumplir con la normatividad establecida para su eliminación al ambiente, de tal manera que el impacto causado por esta sea el mínimo posible.

En las plataformas de perforación marina, las aguas aceitosas se producen principalmente en:

- Drenaje del área de máquinas de cubierta y escurrimiento del agua de lluvia.
- Drenaje de agua en el piso del equipo y área de tuberías.
- Drenaje de las bombas y presas.
- Aceite de desecho.
- Lodo de perforación base aceite.

El agua de desecho en la cubierta principal, comúnmente presenta concentraciones bajas de hidrocarburos, por lo que normalmente son permitidas las emisiones directas al mar, sin embargo siempre se tiene contaminación ya que se presenta algunas alteraciones tanto a la flora como a la fauna del lugar, por esta razón existen regiones como Alaska, New Jersey y el Mar del Norte donde el desecho de estas aguas están restringidas, y solo se permite su desecho si el contenido de hidrocarburos no excede 15 ppm. Este criterio es dos veces mayor que la condición de 30 ppm de contenido de éste contaminante para el agua potable de los Estados Unidos. En México se permiten emisiones con un contenido de hidrocarburos de hasta 70 ppm.

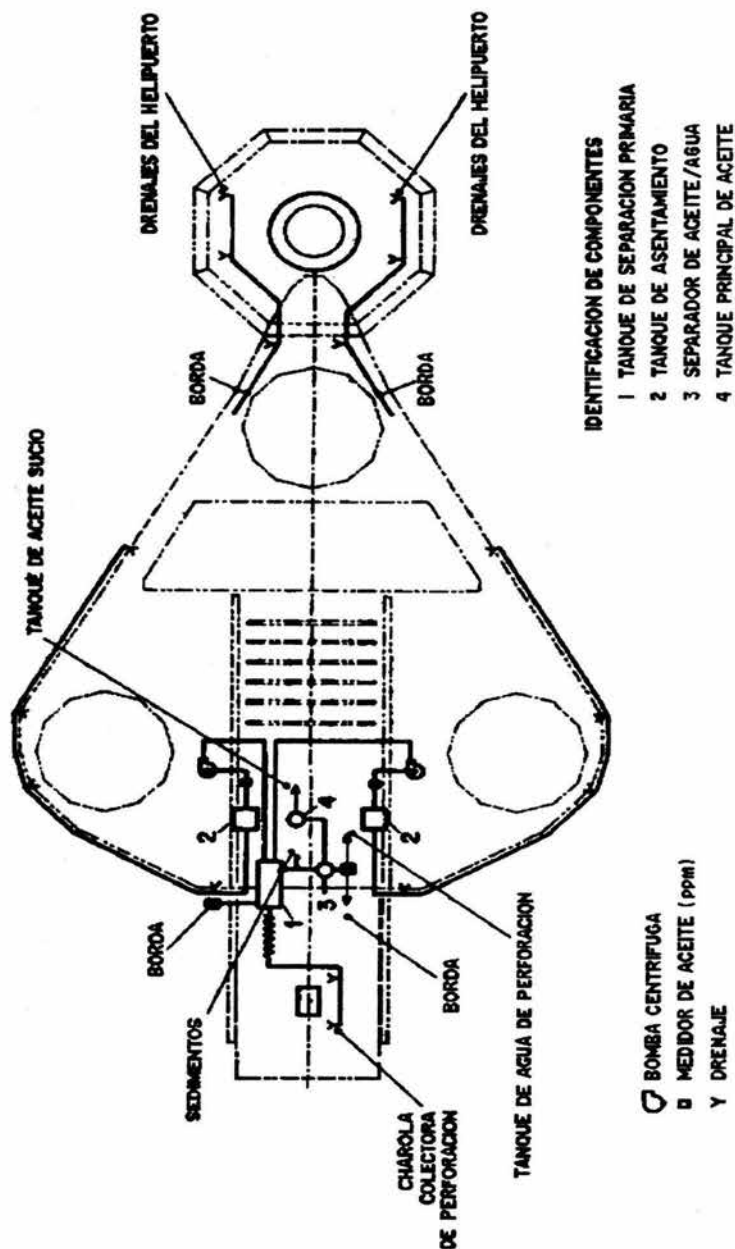


Fig IV.2 Sistema de recolección de aguas aceitosas

Para cumplir con éste tipo de reglamentos, se ha desarrollado un sistema adecuado para recolectar y tratar todas las aguas aceitosas generadas en las plataformas marinas mediante los drenajes existentes, éste proceso se presenta en la fig IV.2.

El sistema envía el agua a través de los drenajes existentes para posteriormente vaciarlas a los tanques de almacenamiento donde se acumulan los sólidos precipitados, los sólidos son removidos periódicamente de acuerdo a los requerimientos. Los sólidos recolectados, se incorporan al equipo de tratamiento de sólidos para ser tratados adecuadamente.

Posteriormente el líquido es enviado mediante una bomba centrífuga a un tanque de separación primaria (fig. IV.3), en el cual el aceite libre se separa mediante el método de decantación, de acuerdo al siguiente proceso:

El tanque esta compuesto por una serie de compartimientos ligados por un sistema de compuertas. El tiempo de retención de líquido en el primer compartimiento es importante debido a que el aceite empieza a separarse de la emulsión base agua mediante la adición de un desémulsificante, por lo que éste debe ser de tamaño tal, que tenga una retención apropiada de acuerdo a los flujos manejados y los escurrimientos promedio.

El agua se precipita al fondo del tanque y el aceite flota en la superficie debido a que son de diferente densidad e inmiscibles. El aceite se derrama sobre el próximo compartimiento y así sucesivamente se repite el proceso hasta alcanzar el último comportamiento.

Los comportamientos están a una tubería por la parte interior equipada con válvulas de bola para descargar el agua a través de un medidor, el cual determina la concentración de aceite, si el aceite excede de los límites marcados (15 ppm para algunos países), el flujo es desviado hacia el separador bifásico agua/aceite para darle un tratamiento adecuado, si no, el agua es desechada a la borda.

El tanque de separación primaria esta diseñado para que en el ultimo compartimiento se derrame la mayor cantidad de aceite, el cual puede tener una cantidad significativa de agua, por lo que el flujo esta alineado hacia el separador de aceite/agua para darle una limpieza final.

El aceite obtenido por la separación bifásica es enviada al tanque principal de aceite recuperado y de ahí al tanque de aceite sucio para su disposición final.

El agua separada es enviada a la borda o a lo tanques de agua de perforación.

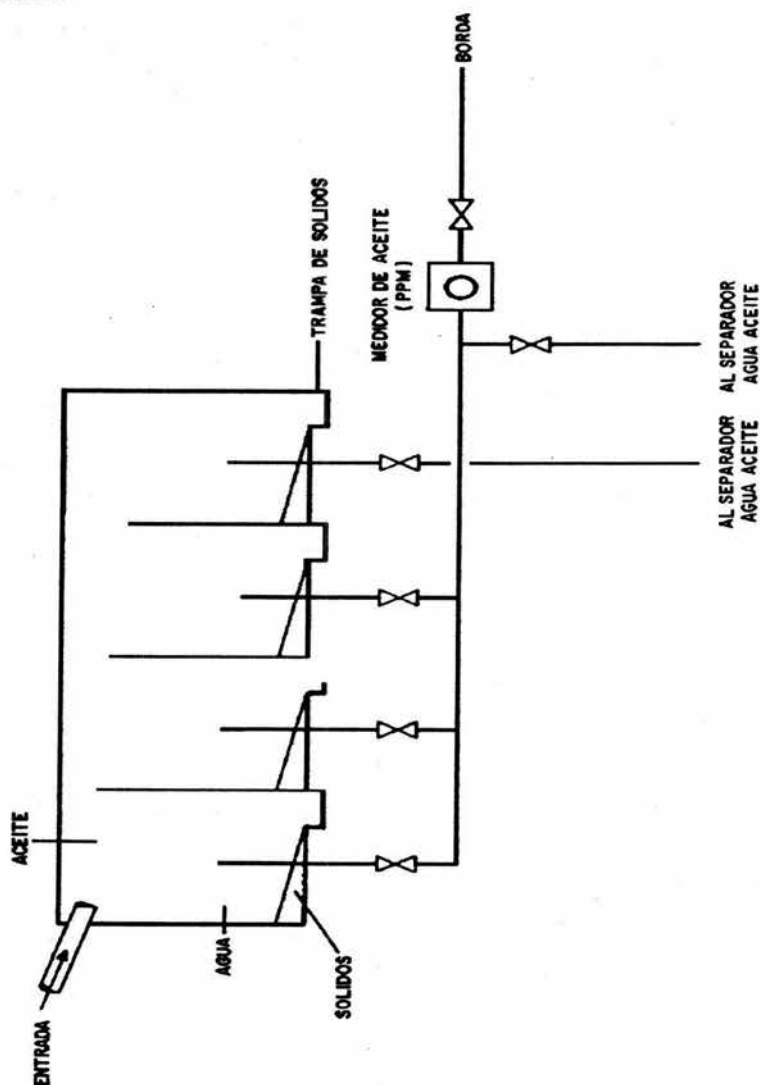


Fig IV.3 Tanque de separación

El drenaje del piso de perforación y el área de tuberías es tratada de manera independiente, ya que los contenidos de aceite normalmente son superiores a los de la cubierta, y contienen residuos de lodo de perforación, por lo que el flujo se desvía a los tanques de asentamiento y entran al sistema directamente dentro del tanque de separación primaria donde se realiza el proceso ya descrito.

Con la finalidad de evitar el derrame de lodo al mar durante las operaciones realizadas en el piso de perforación, se deben realizar la adaptación de los siguientes aditamentos:

- Colocar una charola recolectora bajo la mesa rotatoria.
- Colocar una charola recolectora debajo del malacate.
- Colocar una charola recolectora debajo de los cabezales, soldada directamente al tubo conductor.

Estas charolas están conectadas directamente a una bomba que eliminan los derrames al tanque de separación primaria para desarrollar el proceso de separación.

El sistema deberá contar con una capacidad de almacenamiento sustancial para captar el agua de lluvia, debido a que en una hora se puede generar un flujo de alrededor 10,000gal. (37 m<sup>3</sup>). Existen sistemas con una capacidad de almacenamiento disponible, de esta manera no se tendrá problemas para captar el agua obtenida durante un periodo de lluvia. El aceite recuperado en este proceso es recolectado en el tanque de almacenamiento y puede ser usado a bordo como combustible, tratamiento del fluido de perforación ó combustible para los quemadores de desechos. También puede recolectarse en tambores de 200 lts. y ser transportado a tierra para su disposición final.

#### IV.4 TECNOLOGÍAS PARA EL CONTROL DE AGUAS ACEITOSAS.

El agua producida en las operaciones de perforación se encuentra contaminada con desperdicios orgánicos, agentes químicos y metales pesados, por lo tanto requiere un tratamiento con tecnologías sofisticadas que únicamente es posible realizar en una planta de tratamiento de aguas, existen métodos físicos y químicos los cuales se llevan a cabo por separado, como los tratamientos para la separación de desperdicios orgánicos, y la eliminación de metales pesados, tratamientos de degradación química, determinaciones de las constantes de biodegradación, tratamientos biológicos, y tratamientos anaerobios del agua, estos dos últimos son ya tecnologías de muy alto nivel.

No todas las plantas cuentan con tratamientos específicos para cada uno de los contaminantes que contienen el agua que se produce en las operaciones de perforación, a continuación se presentan algunos de los principales tratamientos que se llevan a cabo en estas plantas.

##### **Objetivo del Tratamiento.**

- 1) Reducción del contenido de residuos aceitosos.
- 2) Preparación del agua para su rehuso.
- 3) Optimizar la calidad del agua minimizando los costos.

Las aguas aceitosas contienen muchas sustancias suspendidas o disueltas, tales como gotas de aceite, emulsiones, arcillas, metales finos, sales y precipitados químicos los cuales deben ser eliminados, neutralizados o estabilizados. Para definir el tratamiento adecuado se requiere un análisis completo del agua. Los materiales suspendidos y disueltos contribuyen a la demanda química y bioquímica de oxígeno. Los requerimientos de calidad del agua para la descarga son más rigurosos que los de rehuso y se requieren altos grados de tratamiento. Para la eliminación de la materia suspendida y la que se encuentra flotando, se aplica generalmente un tratamiento primario el cual se lleva a cabo por medios físicos.

Los métodos más avanzados de tratamiento son los disolventes químicos y las emulsiones finamente dispersas, que se denominan coloides y contribuyen a la demanda química y bioquímica del oxígeno, toxicidad, sabor, olor y otras características de calidad. Estos tratamientos están divididos en dos clases: limpieza intermedia y limpieza final. En la presente investigación se ha dividido la discusión de los métodos que se pueden aplicar al manejo y control de las aguas aceitosas y el equipo y procedimientos para dichos métodos, de la siguiente manera:

### **TRATAMIENTOS QUÍMICOS**

### **TRATAMIENTOS FÍSICOQUÍMICOS**

### **TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS**

### **EQUIPO Y PROCESOS**

#### **IV.4.1 TRATAMIENTOS FÍSICOS**

Los métodos de tratamientos físicos para la separación de aceite y materia suspendida del agua incluyen la separación gravitacional, flotación de aire (gravedad ayudada por aire disuelto), centrifugación y filtración. La opción del método dependerá del volumen de agua aceitosa y de la cantidad de materia suspendida.

La tabla IV.2 proporciona una guía para escoger el método más aplicable o combinación de métodos para la eliminación de material suspendido y flotante. A continuación se describen cada uno de los procesos de separación física, encontrados para el tratamiento de las aguas residuales. Para desplegar la información sólo elija cualquiera de los siguientes temas:

#### **SEPARACIÓN POR GRAVEDAD**

#### **ESTANCAMIENTO**

#### **TANQUES DE RETENCIÓN**

#### **AEREACIÓN**

#### **CENTRIFUGACIÓN**

#### **FILTRACIÓN**





BIBLIOTECA  
INSTITUTO DE ECOLOGIA  
UNAM

TABLA IV.2

		Naturaleza de la materia suspendida		
Volumen de Asentamiento Agua Residual		No asentado	Normalizado	
Flujo pequeño, irregular o intermitente	1. Asentamiento del Bache	1. Calor Asentamiento del Bache	+ 1. Asentamiento del Bache	
	2. Centrifuga	2. Filtración	2. Filtración	
	3. 1 o 2 + calor	3. Flotación de Aire	3. Centrifuga	
		4. Coagulación, Floculación y sedimentación		
Flujo continuo y grande	1. Separación Gravitacional	1. Filtración	1. Sedimentación	
	2. Flotación de aire	2. Flotación de aire	2. Filtración	
	3. 1 + 2	3. Coagulación, Floculación y Sedimentación	3. 1 o 2 + Coagulación y Floculación	
	4. Filtración	4. 1 o 2 + Coagulación	4. Centrifuga	
	5. Centrifuga			
	6. 4 o 5 + Calor			

#### IV.4.1.1 SEPARACIÓN POR GRAVEDAD

La funcionalidad de la separación por gravitación, depende de la diferencia de la densidad del aceite o del material suspendido y del agua. Si el volumen de agua residual es pequeño y el flujo es irregular o intermitente, la separación puede ser realizada en tanques donde se pueden obtener condiciones estáticas en un periodo de tiempo determinado. Pero si el volumen de agua residual es grande y continuo se puede usar el separador gravitacional tipo API. La velocidad de flujo a través del separador, el tiempo establecido y el diseño del separador son importantes para un efectivo funcionamiento. El separador de gravedad se encuentra en uso en toda la industria petrolera.

##### a) Separador de agua-aceite.

Una gran cantidad de investigaciones y experimentos han apoyado a los separadores de gravedad por muchos años y han adoptado los principios fundamentales, los cuales proporcionan las bases matemáticas para la determinación de la forma y dimensiones del separador. Estos principios han sido aplicados en el diseño de los separadores demostrando su funcionamiento altamente efectivo.

El diseño y tamaño del separador depende del carácter y calidad del agua residual aceitosa a ser tratada. Se realiza una prueba de susceptibilidad de separación, la cual se usa como una guía para determinar que porcentaje de influencia en el separador.

Los separadores gravitacionales no retienen ni separan sustancias en solución, ni previenen el paso de aceites emulsificados, y tampoco rompen las emulsiones estables, por lo que estas deben ser rotas antes de entrar al separador. La efectividad de un separador depende del ritmo de flujo administrado, de la temperatura del agua, la densidad, el tamaño de glóbulos de aceite, de la cantidad y características del material suspendido.

#### IV.4.1.2 ESTANCAMIENTO.

El estancamiento involucra la retención de agua residual en un gran estanque o serie de estanques por un periodo suficiente para separar el material suspendido de el agua. Usualmente los estanques son empleados después del separador de agua-aceite, los cuales proporcionan el tiempo para la separación adicional de sólidos y aceite, además de la oxidación de los constituyentes orgánicos indeseables, se puede lograr una reducción en el contenido de aceite, sólidos suspendidos, sulfuro y oxígeno bioquímico; este proceso se lleva a cabo después de que el volumen de aceite ha sido eliminado en el separador primario de aceite y agua.

Cuando no se emplea un separador de agua-aceite se puede hacer fluir el agua hacia un estanque secundario de un tamaño adecuado para la carga y el flujo, que sirve como un sistema de oxidación químico y biológico. El cual realiza tratamientos de la misma manera que los estanques de oxidación de aguas sucias.

El tamaño de los estanques depende de la biodegradación, turbidez, tratamiento deseado y del volumen de agua. Una norma es que la máxima profundidad de este no debe ser mayor de 5 pies. El tiempo de retención, el cual determina el área del estanque, variará de unos pocos días hasta varios meses dependiendo del grado de tratamiento deseado, estos estanques también son usados en los tratamientos biológicos.

#### IV.4.1.3 TANQUES DE RETENCIÓN.

Los tanques de retención se emplean para la separación gravitacional cuando el volumen de agua residual es pequeño o el flujo es irregular e intermitente. La instalación de un sistema doble de tanques proporciona más tiempo en reposo para la separación, tienen equipos antiespumantes tales como líneas de movimiento y raspadores de fondo, para eliminar el sedimento después de cada tratamiento. Los tanques están dimensionados según el volumen de aguas aceitosas a ser tratado debiendo establecer el tiempo requerido para la separación del material suspendido. La afluyente de agua de los tanques contiene material disuelto y suspendido en las aguas aceitosas los cuales se aproximan cercanamente a la densidad relativa del agua. Se necesitan tratamientos adicionales de la afluyente de agua de esos tanques antes de la descarga.

#### IV.4.1.4 AEREACIÓN.

Este proceso se aplica para la eliminación o suspensión de sólidos y aceite, se basa en el principio de disolución y aprovecha la acción de burbujas de aire extremadamente finas, estando en solución para que exista una reducción de presión.

Los estudios realizados demuestran que el proceso es muy seguro, en el mejoramiento del agua residual antes de su disposición. Este proceso ha tenido auge debido a la falta de eficacia de la separación gravitacional en la eliminación de aglomerados aceite-sólidos de los que sus densidades se aproximan a la del agua. La aereación no reemplazará a la separación gravitacional; sino que esta encontrara el uso de una serie de separadores gravitacionales como paso final para la clarificación del agua.

El proceso de aereación es relativamente simple y esta dividido en dos clases generales: La presurización de la alimentación total y la presurización de el reciclado. Dentro del primero una porción de la alimentación para la unidad de tratamiento es presurizada de 30 a 50 lb/pg<sup>2</sup>, esta porción esta en contacto con el aire a esa presión de 1 a 2 minutos de tiempo de retención en el tanque. Posteriormente esta fluye a través de una válvula de presión para juntarla con la alimentación en el proceso de flotación. La reducción de presión es consecuencia de las burbujas de aire microscópicas las cuales se unen a ellas mismas para suspender las partículas; finalmente se producen aglomerados los cuales tienen ritmos de ascenso de 0.5 a 1.0 pies/min y rápidamente llegan a la superficie para formar una capa de espuma.

Los raspadores especialmente diseñados continuamente eliminan la espuma. En cámaras de flotación comerciales y los tiempos de retención se encuentran en el orden de 10 a 15 min.

El sistema secundario general es similar, excepto que el aire es disuelto en una corriente de reciclado tomada de la corriente de la afluyente clarificada. Esta corriente de reciclado se presuriza en contacto con el aire, y entonces se descarga a la presión atmosférica en uno o más puntos de la cámara de flotación donde la descarga de las partículas de aire pueden juntarse para la suspensión de partículas en la alimentación.

La disolución de la aereación depende de la adición de las burbujas de aire para la suspensión de partículas de aceite y otras, las cuales no pueden ser eliminadas de la corriente residual. La atracción entre las burbujas de aire y las partículas es resultado de la adsorción de fuerzas, las cuales están en función de las características de la superficie de las partículas, y pueden ser usados los agentes químicos de floculación, los cuales son necesarios para incrementar la efectividad del proceso de aereación.

La floculación química usada con la flotación esta influenciada por los mismos factores que cuando la floculación química es usada con la sedimentación. Una gran floculación facilita un alto grado de tratamiento, la temperatura, la dosificación, el P.H., la alcalinidad y el tiempo de reacción, también tendrán una gran influencia en el grado en que los químicos ayuden al tratamiento.

Se han obtenido excelentes resultados con la clarificación de aguas de relativa calidad. En tales aguas la cantidad y tipo de materiales disueltos remanentes no cambia. Existe una variación en la cantidad de sólidos y aceite suspendidos pero estas variaciones están dentro de los límites por lo que no tienen efecto sobre el proceso de aereación. El éxito en el tratamiento sin embargo no garantiza el éxito en el tratamiento de las afluentes del separador agua-aceite y otros residuos específicos. Las afluentes pueden variar considerablemente en los siguientes aspectos:

- 1) Tipo y cantidad de material disuelto.
- 2) Tipo y densidad relativa de los sólidos suspendidos.
- 3) Tipo y cantidad de aceite libre y emulsificado.
- 4) Temperatura.
- 5) P.H.

El uso de agentes floculantes se requiere usualmente para obtener un alto grado de claridad en el agua. Sin embargo la experiencia ha mostrado que la aereación puede operar eficientemente cuando existen cambios rápidos en la temperatura y el contenido de aceite en la corriente de alimentación.

## **Construcción.**

Los equipos de aereación están disponibles con un gran número de fabricantes. Existen unidades empaquetadas, construidas de acero y se pueden comprar con un rango de capacidades de más de 1000 gal/min. Diseños circulares y rectangulares y cuando se requieren unidades grandes, se pueden construir en el mismo campo, se puede construir también una cámara de flotación de mayor o menor grado, que puede ser de acero, concreto reforzado o losa.

## **Pruebas de aereación de laboratorio.**

La eficiencia de la aereación puede ser determinada por una simple prueba de laboratorio, Estas se pueden realizar dentro de un rango de condiciones, tales como uso del flujo de agua de reciclada, presurizada o no y con químicos coagulantes. Existen equipos para trabajar con muestras de 500 a 1000 ml.

### **IV.4.1.5 CENTRIFUGACIÓN.**

Centrifugar es la mejor aplicación para los sedimentos y emulsiones y no es generalmente usada en el tratamiento de las corrientes completas de aguas de desecho aceitosas a menos que el volumen sea pequeño. En una mezcla de fluidos inmiscibles y sólidos suspendidos, esas sustancias con la mayor gravedad específica se acumularán a una gran distancia desde el eje y las de menor gravedad específica se ubicarán lo más cerca del eje. Por lo tanto, en una mezcla de aceite, agua y sólidos suspendidos, más pesados que el agua contenida en una centrifuga rotatoria, los sólidos ocuparán la siguiente posición a la cubierta de la centrifuga, el aceite ocupará el espacio más cercano al eje y el agua se ubicará entre los dos elementos.

Las centrifugas ejercen una fuerza mucho más grande que la gravedad terrestre, estas pueden operar de las dos formas, horizontal o verticalmente. Muchas centrifugas comerciales ejercen una fuerza centrífuga tan alta como 6000 veces la gravedad de la tierra ( 6000 G's) lo cual las hace separadores más efectivos que los separadores por gravedad, sin embargo, el costo de

operación de una gran centrifuga es bastante para el manejo de grandes volúmenes de agua de desecho y podría ser incosteable. Es mucho mas económico emplear la centrifuga en sedimentos y desnatado desde los separadores por gravedad que para usarlos en el tratamiento completo de la corriente de aguas de desecho. Problemas de corrosión de materiales y erosión de sólidos arenosos pueden ser las causas de mantenimientos considerablemente costosos si la centrifuga no es operada apropiadamente o la fuente de abastecimiento de agua no es propiamente pretratada.

El éxito de este proceso depende de la diferencia en la gravedad específica de las sustancias a ser separadas.

Se requiere usualmente equipo suplementario para evaluar las aguas de desecho para la aplicación o no de la centrifuga. La discusión sobre los tipos de centrifugas serán determinadas en una sección de equipo mas adelante.

#### IV.4.1.6 FILTRACIÓN

Otro método de separación de materia suspendida del agua de desecho es la filtración. Este proceso es caracterizado por el paso de agua de desecho a través de algún tipo de medio, con el cual los líquidos pueden fluir pero los sólidos son depositados. Este proceso puede ser dividido en dos tipos, superficial y en filtración profunda. Cada tipo puede ser subdividido más de acuerdo a el principio de retención de la materia suspendida por los medios. El éxito del tipo de mecanismo colador depende del tamaño de las partículas más pequeñas de sólidos suspendidos, contra el tamaño de los poros o intersticios del medio. Los coladores no serán supuestos para retener líquidos tal como aceites en el medio, a menos que la viscosidad del líquido sea demasiado grande para no permitirle el paso a través de los poros. Usualmente en un caso semejante, los poros son tapados por la viscosidad del líquido y el colador comienza a no operar, por lo que será necesaria una limpieza del equipo. El tipo de adsorción depende de la tenacidad con la cual la partícula absorbida es retenida por el medio. Este tipo de filtro puede taparse debido al material filtrado del agua de desecho y entonces su limpieza será necesaria. En cualquiera de los dos casos, los filtros pueden ser equipados con algún tipo de arreglo limpiador. Limpiando a chorro de agua tipo rociado o "spray" y soplando abajo con algún tipo de renovador superficial tal como es usado en la filtración.

### **a) Filtración Superficial.**

Los filtros superficiales incluyen coladores sencillos y los más sofisticados filtros recubiertos o filtros con tierra de diatomeas. Los coladores microscópicos son filtros mecánicos y consisten usualmente de un tambor rotatorio, la superficie periférica, la cual esta cubierta con un filtro fabricado de acero inoxidable, nilón u otro material comparable.

El tambor gira en un eje horizontal y el agua a ser filtrada es introducida por un lado del tambor. El agua es filtrada a través de la tela y los materiales suspendidos demasiado grandes para pasar a través de los poros pequeños de la fábrica son retenidos en la tela. Como el tambor gira los sólidos están continuamente removiéndose a la parte alta del tambor por una serie de rociados, extendiéndose a lo largo del tambor y usando el agua filtrada bajo presión. El lavado de agua conteniendo los sólidos removidos es colectado en una recipiente dentro del tambor y descargado a través de un hueco cercano al eje. Obviamente no serán removidas las suspensiones y líquidos coloidales de baja viscosidad .

Si el contenido de materia suspendida del agua de desecho no es bastante consistente, se tendrán problemas operacionales. Los volúmenes pueden reducir la conexión debido al taponamiento de la microtela. Tales dispositivos deberán operar por flujo gravitacional.

### **b) Filtros Recubiertos**

La filtración en Diatomeas es un método versátil y confiable de retirar sólidos suspendidos y rastros de aceite de aguas de desecho. Estos filtros consisten de una vasija exterior, que contienen una serie de elementos de filtro tal como tubos u hojas.

Usualmente los accesorios consisten en tanques de suspensión, recirculación, bombeo y sistemas de lavado. Cualquiera de estos opera bajo presión de vacío.

La operación de estos filtros es en tres etapas. La suspensión de la diatomea es bombeada junto con el agua recirculada a través de la unidad de filtro hasta una delgada capa de diatomea precubierta que es depositada sobre los elementos de filtro.



La suspensión es alimentada al filtro en una operación continua. La suspensión es añadida a la alimentación para mantener la porosidad de la porción del filtro en los elementos de este. Cuando la presión diferencial incrementa a un valor predeterminado, el cual indica un taponamiento de la porción del filtro, la alimentación del agua de desecho se corta y el sistema de filtrado es regresado a un sumidero, el filtro gastado es retirado y el ciclo completo se reinicia.

El filtro rotacional recubierto está diseñado para manejar aguas de desecho las cuales también cargan con materia suspendida como para hacerla impráctica para filtrar a través de filtros de hojas convencionales de presión de vacío. Este consiste de un tambor horizontal rotatorio cubierto con un marco capaz de retener un material de revestimiento. El tambor está contenido en una cáscara exterior o cápsula y es parcialmente sumergido en el líquido a ser filtrado. El vacío es aplicado a el interior de la superficie del tambor. En operación, una capa de revestimiento de la parte media del filtro de 2 o 4  $\mu\text{g}$  de espesor es construida por encima de la superficie exterior del tambor cerca de la pasta reciclando a través del filtro y atrás de la capa delgada acuosa de arcilla.

Cuando la porción del revestimiento de dicha capa es establecida con un espesor correcto, el agua de desecho es introducida dentro de la cápsula del filtro a un nivel del cual cubrirá una tercera o una mitad del tambor rotatorio. El vacío es aplicado a la rotación del tanque. Como el tambor gira corriendo a través de la cara del tambor arriba del nivel del líquido, continuamente avanza hacia el tambor y como esto hace repeler los sólidos y una porción muy pequeña del borde exterior de la porción recubierta. De este modo, la superficie del filtro es continuamente renovada. Esta operación es continua hasta que la porción precubierta es reducida de 1/4 a 1/8 de  $\mu\text{g}$  de espesor, entonces la unidad está cerrada por abajo, limpiada y el ciclo repetido.

### **1.- Ventajas de los filtros recubiertos:**

- Flexibilidad en la reunión de condiciones variables de las aguas de desecho.
- Producen afluentes altamente clarificados.
- Pueden remover sólidos en el rango de submicras.

- Pueden remover cantidades de trazas de aceite por adsorción encima del medio filtrante.
- Usualmente requieren menos espacio que otros equipos de separación de líquidos.
- Pueden ser completamente automatizados.

## **2.- Desventajas de los filtros recubiertos:**

- La adición de disposición de sólidos ha creado problema por el paso de la porción del filtro.
- Alta inversión de capital para el flujo de grandes volúmenes.
- Altos costos de operación.

Sin embargo se sugiere que el proceso será investigado para pequeños flujos y donde las emulsiones están presentes en las aguas de desechos.

En las filtraciones profundas es característico como el proceso que permite el flujo de líquido a través de un lecho del medio, usualmente granular, diseñado para permitir que la materia suspendida del agua, penetre a la superficie del medio que aún será retenida dentro del filtro. Esta clase de filtros incluyen filtros de arena, de grado arena/grava, de grado antracita y filtros de heno.

Este tipo de filtro generalmente es considerado como un método oportuno de tratamiento intermedio. Es conveniente, dependiendo de la cantidad y carácter de aceite a ser removido del agua de desecho y la frecuencia de reemplazar el medio filtrante.

Los materiales que han sido usados incluyen desperdicio libre, paja, alfalfa y ciertos plásticos, como son el poliuretano. La alfalfa y otros materiales similares han sido usados y han probado ser satisfactorios. El uso de estos es limitado porque tienden a compactarse y taponar rápidamente. El poliuretano absorbe aceite como una esponja y puede ser renovado por compresión el cual saca el aceite, eliminando de este modo el costo de nuevo material.

Con tiempo el medio filtrante comienza a saturarse, la adsorción se suspende y el aceite inicia a pasar a través del filtro.

En este punto el medio filtrante debe ser renovado o reemplazado. Detalles de la construcción de la canasta, ingeniería y operación de datos puede ser consultados en el " Manual de la disposición de desechos de Refinería " del API, volumen 1 y " Aguas de desecho que contiene aceite ".

### c) Filtros de Arena

Se emplean principalmente filtros de arena, para adquirir un esmalte del agua usado para propósitos domésticos.

La remoción de materia sólida es efectuada por medio de coladeras a través de los intersticios de la capa de arena y por adherencia de las partículas sólidas a los granos de arena. Hay dos principales tipos de filtros de arena: El filtro de arena lento y el rápido. En los filtros lentos el agua pasa por gravedad a través de la arena a baja velocidad, usualmente a gastos de dos a 10 millones de galones por acre por día. Después de un período extendido de servicio el lecho de arena comienza a obstruirse y puede ser limpiado el proceso de limpieza consiste en el restregado de la superficie de arena en algunos casos la arena usada es lavada para rehusarla.

La calidad de la alimentación de un filtro de arena lento puede ser bastante alta. Cuando la turbididad del afluente de agua excede de los 30 a 50 Unidades de Candela (Jakson Candle Units), el periodo entre una limpieza y otro se hará excesivamente corto. Un agua de color no puede ser tratada satisfactoriamente en un filtro de arena lento.

Pocos afluentes de separadores aceite-agua son de alta calidad y si tal fuera el caso, el afluente probablemente se considera apropiado para descargar de un punto superior de los sólidos suspendidos, sin mas tratamiento.

Los filtros rápidos contienen arena mas granulada y son operados a gastos de 15 a 20 veces mas grandes que los empleados por filtros de arena lentos. También, la arena mas granulada permite al filtro rápido manejar aguas de turbididad mas alta, aunque las aguas son a menudo pretratadas por floculación química para remover algo de materia suspendida, los filtros de arena rápidos son usualmente limpiados mas bien por retrolavado que por restregado de la superficie de la arena. El retrolavado en algunos filtros rápidos puede ser controlado automáticamente reduciendo de este modo las necesidades de mano de obra.

#### **d) Filtros de Presión Media Granulada**

Incluidos en este grupo de filtros están la antracita graduada y los filtros arena/grava agrandada, los cuales operan bajo presión. El medio filtrante en cada instante es graduado a el tamaño de los gránulos empleados. El lecho de arena/grava consiste en una mezcla de arena y grava la cual varía en tamaño desde la grava burda a la arena fina. El lecho filtrante es encerrado en una vasija a presión, soportada por un plato perforado 18 pg abajo del fondo de la vasija. La vasija esta construida de modo que permita de 40 a 75% de espacio libre o un espacio vacío abajo de la superficie del lecho filtrante.

El agua bajo presión, entra a la vasija de la parte superior, a través de un sistema de distribución, el cual distribuye el agua regularmente sobre la superficie del medio. Como el agua marcha en forma descendente a través del lecho o capa de filtro, la materia suspendida es removida y suelta el agua limpia abajo a través del plato o placa perforada en la parte superior de la vasija.

Esos filtros son limpiados por flujo inverso de retrolavado a una cuenca de arreglo de sedimentos a presión atmosférica. De este modo, la capa de filtro es desacomodada, fregada y limpiada y finalmente se reclasifica cuando la presión del retrolavado cesa.

Estos filtros pueden también ser controlados por automatización, activado por el ciclo de retrolavado cuando la presión diferencial , durante la operación, alcanza un nivel predeterminado. Mas innovaciones se han estado adicionando a las unidades de filtros de arena especialmente el tipo de presión.

## IV.4.2 TRATAMIENTO QUÍMICO

El tratamiento químico de aguas aceitosas es complicado para los casos de remoción de materia suspendida o clarificación, para la neutralización, estabilización y remoción de sustancias disueltas. Esto es utilizado en los tres pasos de tratamiento; primario, intermedio y tratamiento final. Es por lo tanto muy importante que el análisis químico de las aguas aceitosas sea realizado, antes de tomar cualquier decisión, considerando para tal fin los procesos o equipos deseados para cualquier situación particular. Esto es necesario para prevenir cualquier incompatibilidad, que pudiera elevar los costos de los tratamientos químicos.

Los agentes químicos pueden ser usados para romper las emulsiones, neutralizar las sustancias corrosivas disueltas, ajustar el pH del agua, producir coagulación, floculación y precipitación. Esto puede ser necesario para proporcionar los nutrientes apropiados para los procesos biológicos y para esterilizar el agua cuando sea necesario, antes que los reciba la corriente de descarga. Esto deberá ser usado para ayudar en la reducción de los químicos y demanda de oxígeno bioquímico, experimentando en problemas de olores y para preparar el agua para rehuso.

### IV.4.2.1 EMULSIONES.

Las emulsiones serán encontradas en casi cualquier agua aceitosa y deberán ser consideradas. Puesto que estas son mezclas de aceite y agua y frecuentemente se atrapan en los sólidos suspendidos, y su gravedad específica esta muy cercana al del agua. Consecuentemente estos se colocaran ya sea arriba o abajo de las aguas aceitosas por lo que deberán ser removidos o desemulsificados. Si el volumen de la emulsión es grande, el procedimiento de inspección puede revelar en los recortes de la descarga el uso de emulsiones de aceite o los procesos de limpieza química de los afluentes ( líquidos en la descarga). En tales casos la mejor practica es mantener tales emulsiones aisladas y tratar entonces de separar las descargas de agua de los sistemas de tratamiento para desaguar las aguas aceitosas recolectadas. Aun así, algunos problemas pueden tenerse de los agentes emulsificantes y pequeñas cantidades de emulsión pueden encontrarse en los afluentes de agua. Si la cantidad de emulsión es pequeña, esta puede ser removida por filtración, flotación de aire o coagulación y floculación del cuerpo principal de las aguas aceitosas.

## Causas y efectos

Las emulsiones pueden ser definidas como dos fases de mezclas de aceite y agua, con una fase dispersa en diminutos glóbulos, en la otra. Estos diminutos glóbulos son estabilizados por una película interfacial, tal que los glóbulos no pueden unirse y no responden al asentamiento por gravitación. Las dos emulsiones, donde los glóbulos están rodeados por el agua (aceite en agua y/o emulsión) y glóbulos de agua rodeados por aceite (agua en aceite y/o emulsión), coexisten, pueden ser encontrados. Esta doble combinación son algunas veces referidas como "Unión de cascara de cebolla" en las emulsiones. Inapropiados tratamientos ya sea del tipo aceite en agua o agua en aceite, pueden invertir la emulsión para el tipo opuesto.

En más teorías de emulsiones donde también pueden encontrarse para doble emulsión, la inversión de fases y efectos en un amplio rango de agentes emulsificantes, en una de las cuales se enfatiza lo que acontece en la interfase entre el aceite y el agua. Una película interfacial generalmente es entendida que existe como una mezcla compleja disuelta y materia coloidal, conjuntamente con sólidos suspendidos. Tal película interfacial puede ser altamente viscosa, gelatinosa y/o dominada por una carga eléctrica. Algunos experimentos consideran la película interfacial como una tercera fase. Generalmente la estabilidad de la emulsión no está en función del grado de dispersión. Por lo tanto está en función de los agentes estabilizadores y propiedades de la película interfacial, tal como una película viscosa y cargas eléctricas. Esto es considerado como uno de los principales factores que afectan la estabilidad de la emulsión, como se lista a continuación, cuatro de los cinco factores comienzan a relacionarse directamente con la película interfacial.

1. Una coherente, fuerza mecánica de la película interfacial.
2. Un estrato unimolecular orientado de agentes emulsificantes o estrechamente empacado por partículas sólidas en la interfase.
3. Viscosidad de una fase continua y de la emulsión.
4. Naturaleza y cantidad de agentes emulsificantes.
5. Almacenamiento físico o condiciones históricas tales como temperatura, gravitación y dilución.

### **Propiedades de la emulsión y características.**

Las consideraciones más importantes son el tipo de emulsión, identificación, caracterización y comportamiento químico y físico-químico. Deberá ser entendido que las emulsiones, en practicas usuales son complejas y que la tecnología de las emulsiones es un proceso casi científico. Generalizar es arriesgado y las experimentaciones de ensaye y error son esenciales. Sin embargo, los varios principios y propiedades presentados en este artículo, pueden servir para clarificar ensayos experimentales e interpretar los resultados del comportamiento del manejo de las emulsiones y sus tratamientos.

### **Identificación y caracterización.**

Para un ensayo sistemático de los problemas de las emulsiones, las emulsiones pueden ser clasificadas como:

1. Por fase dispersa, ya sea aceite o agua.
2. Doble emulsiones de fase aceite o de fase agua.
3. Estabilidad y mediciones por cambios con el tiempo de la fase dispersa, análisis del tamaño de las partículas y/o estudio del tiempo de separación.
4. Por tipo de película interfacial:
  - a) Aniónico
  - b) Catiónico
  - c) No iónico (Alcalino caluroso estable o alcalino caluroso sensitivo)
- 5) Por pasos del estado de rompimiento de la emulsión de acuerdo a los procesos; calentamiento, centrifugación, filtración, etc.

## **Propiedades fisicoquímicas.**

### **Tensión Superficial.**

La magnitud relativa de la tensión superficial de cada lado de la película interfacial, determina el tipo de emulsión formada, ya sea base aceite o base agua. La estabilidad de la emulsión depende de la naturaleza y cantidad del agente emulsificante. La película interfacial se curva en la dirección superficial interfase-líquido de la tensión superficial y envuelve a los líquidos de los lados. Estos agentes activos superficiales, crean una baja tensión superficial sobre el agua hacia la interfase de los lados, en favor de una emulsión aceite agua donde el agua es el medio dispersante y el aceite es la fase dispersa.

### **Miscibilidad.**

Las emulsiones aceite-agua son fácilmente miscibles en agua y en lo inverso las emulsiones agua-aceite son fácilmente miscibles con aceite. El estado general, cualquier emulsión es miscible y estable con cantidades adicionales en un medio de dispersión. La emulsión permanecerá estable mientras que la película interfacial y el agente emulsificante no afecte los materiales. Sin embargo, el tipo de emulsión puede ser determinado por el siguiente principio: Si una emulsión es miscible con agua, esta es del tipo aceite-agua.

### **Carga Eléctrica.**

Uno de los principales factores que contribuyen a la formación y estabilidad de las emulsiones de aguas aceitosas son las cargas eléctricas llevadas por las partículas emulsificantes. Generalmente se comunican, los glóbulos de aceite en una emulsión aceite agua cuando la estabilidad por electrólisis son cargadas negativamente. Lo opuesto, es cierto para una emulsión agua-aceite. Las emulsiones pueden ser rotas por una corriente eléctrica o por electrolitos suministrados en una suficiente concentración para una efectiva ionización la cual lleva una carga opuesta a las de las partículas suspendidas.



## **Viscosidad**

La viscosidad de los componentes del aceite en una emulsión agua-aceite, puede ser un factor importante en la estabilidad de una emulsión, pero aparentemente es poco significativa. en una emulsión aceite-agua.

Una Ingeniería juiciosa, la viscosidad de una emulsión generalmente encontrada en aguas aceitosas es una línea recta en función de la fracción de los glóbulos dispersos. Excepciones podrán ser encontradas en cantidades apreciables de sólidos o atrapados en el aire. Posteriormente los cambios marcados en viscosidad pueden ser encontrados cuando el volumen de la fase dispersa excede el volumen del medio dispersante.

## **Relaciones de volumen.**

La fase dispersa de una emulsión teóricamente puede ocupar un máximo del 74% del volumen total de la emulsión si se asume que la fase dispersa consiste de uniformidad, gotas esféricas. En la practica el máximo contenido de la fase dispersa puede ser mayor al 74%. Se han encontrado emulsiones que varían de una fracción del 1% de la fase dispersa, sobre rangos enteros de aproximadamente 80%.

## **Agentes emulsificantes y estabilizadores.**

Las propiedades de las emulsiones, en el control de los desechos de aceite, son entendidos cuando se contribuye a la estabilidad de una emulsión, por lo tanto y por lo tanto que puede ser la causa de que una emulsión sea inestable y se separe o se rompa. El tratamiento de este punto de vista requiere de un entendimiento de las causas de la emulsión y de los agentes estabilizadores.

Las sustancias que causan que una emulsión sea estable pueden ser clasificadas como iónicas o no-iónicas y generalmente son de naturaleza coloidal o consisten de una partícula sólida, la cual son superficies activas. Gels hidratadas o gomas, jabones, aceites sulfonados, residuos asfálticos, ceras, sedimentos, desechos sanitarios, representan el rango de agentes emulsificantes usualmente encontrados. Materia coloidal puede ser adicionalmente clasificada como hidrofólica (agua en activo) o hidrofólico (aceite como activo).

### **Iones emulsificantes y agentes estabilizadores.**

La importancia de los iones emulsificantes es que son químicamente activos debido a la actividad del carboxil, sulfónico, aminas o grupos hidroxil contenidos en estos. Tales componentes son individuales o en combinación con electrolitos pueden fácilmente resultar en una emulsión estable. Cuando no existe reacción química, toma el lugar entre el electrolito y el agente emulsificante, la carga electrolítica la cual puede existir en los glóbulos dispersos en una emulsión, es poco significativa con la estabilidad o el tipo de emulsión.

La totalidad de los emulsificantes iónicos y los agentes emulsificantes y agentes estabilizantes serán presentados para los efectos con varias sustancias como se ilustra en la tabla IV.4.3.

### **Agentes emulsificadores y estabilizadores no iónicos.**

Los agentes emulsificantes no iónicos son principalmente resinas asfálticas, asfáltenos y ceras bajo ciertas condiciones. Tales materiales pueden ser considerados como coloides de aceite solubles (hidrófobicos) y pueden existir solos o pueden ser absorbidos sobre arcilla u otras superficies de sólidos activos.

**TABLA IV.4.3**

### **IONES EMULSIFICADORES**

<b>Tipo aceite en agua</b>	<b>Tipo agua en aceite</b>
<b>Sodio y Potasio jabonoso</b>	<b>Metal jabonoso multivalente</b>
<b>Sodio naftanos</b>	<b>Ión sulfito+ partículas de carbón</b>
<b>Cristales de sodio</b>	<b>Óxidos de metal multivalente y sulfatos + iones sulfato</b>
<b>Sodio y Sulfato de potasio</b>	<b>Mercaptanos y mercaptides</b>
<b>Sulfatos precipitados activos sólidos</b>	<b>Sulfatos Ácidos Naptenicos</b>
<b>Aminas Orgánicas</b>	<b>Ácidos Cresílicos</b>

#### IV. 4.2.2 DESEMULSIFICACIÓN.

Para lograr el rompimiento de la emulsión se necesita un método efectivo, consistente, exitoso y que no sea costoso. Las emulsiones menos estables se pueden romper por calentamiento, este método es el más simple y el menos costoso. El calor reduce la viscosidad de la fase aceitosa, derrite la película interfacial de cera y puede debilitar las películas interfaciales de varios agentes emulsificantes.

Las mezclas estables se pueden separar por centrifugación, si la diferencia de densidad relativa del aceite y el agua es apreciable la fuerza centrífuga acelera el asentamiento. El calor se puede combinar con la centrifugación para bajar la viscosidad del aceite e incrementar la diferencial entre las densidades relativas del agua y el aceite. La mayoría de la emulsiones estables de agua/aceite particularmente las que están estabilizadas por sólidos finos, se pueden corregir efectivamente con una continua filtración

##### a) Métodos Químicos.

Los métodos químicos son eficaces en el rompimiento de las emulsiones cuando: la tensión superficial de cada lado de la interfase es balanceada o inversa, cuando los agentes emulsificantes son precipitados, o cuando los agentes activos con superficie aniónica y catiónica, no son mutuamente compatibles y tienden a neutralizarse el uno al otro. Las reglas generales para el rompimiento de las emulsiones estabilizadas con electrolitos son:

- 1) Aniones reactivos tales como  $\text{OH}^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$  rompen la emulsión agua/aceite.
- 2) Cationes reactivos tales como  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  y  $\text{Fe}^{3+}$  rompen la emulsión agua/aceite.

Cualquier agente húmedo romperá la emulsión agua/aceite ocasionando que el agente este más en las superficies activas sobre el agua en la película interfacial y ocasionando que cierta cantidad crítica no sea excedida.

Un ejemplo del uso de un químico activo superficial para romper una emulsión, es el uso de un detergente que rompe las emulsiones agua/aceite con asfáltenos y sólidos estabilizados, causando que el agua, moje preferentemente a los sólidos con lo que se desplaza el agente emulsificante.

Los químicos orgánicos que son eficientes en el rompimiento agua/aceite deberán cumplir con las siguientes características:

- 1) Ser solubles en las 2 fases; es decir el tratamiento químico tiene grupos hidrófilos e hidrofóbicos.
- 2) Formar una adsorción compleja con agentes emulsificantes, hidrofóbicos predominantemente presentes, así como crear un hidrófilico, mojado con agua como mínimo.
- 3) Contener uno o más radicales disponibles para reaccionar con sales de calcio y magnesio en la fase acuosa, resultando sales insolubles, las cuales son mojadas por agua.

Los químicos efectivos para romper la emulsión agua/aceite generalmente tiene un grupo inorgánico (fosfato) o un grupo reactivo tal como OH o NH<sub>2</sub> y tienen como mínimo 3 fases de polaridad que ocurren en terminales de 3 grupos diferentes.

### **Investigaciones de laboratorio.**

Se deben efectuar pruebas de laboratorio para determinar el tipo de emulsión encontrada para poder determinar el mejor tratamiento químico que deberá emplearse. El procedimiento que se utiliza para esta investigación es el siguiente:

### **Investigación microscópica.**

El equipo requerido para la investigación microscópica es del tipo de magnificación bajo poder (50x a 100x) y tiene una serie de celdas porta objeto, para uso exclusivo con bajo poder.

Existe una extensa capacidad en las celdas y una protección especial de varios reactivos, alrededor del área de las celdas que se usan en el estudio.

Debido a que se tienen 7 celdas en este gran porta objeto, se pierde poco tiempo en enfocar y se tiene una rápida comparación de las reacciones en varias celdas, moviendo simplemente el porta objeto.

Los reactivos se deben guardar cuidadosamente en botellas. Este método de examinación es de particular valor para la destrucción de agentes emulsificantes, estas sustancias deben tener una correcta precipitación, neutralización o absorción de agentes emulsificantes.

Algunos reactivos usados en soluciones acuosas (Tabla IV.4) son los siguientes:

**TABLA IV.4 Soluciones acuosas**

<b>REACTIVO</b>	<b>PORCENTAJE EN AGUA (%)</b>
<b>ALUMBRE</b>	<b>10</b>
<b>SULFATO FERROSO</b>	<b>10</b>
<b>SULFATO FÉRRICO</b>	<b>10</b>
<b>CLORURO</b>	
<b>HIDRÓXIDO DE SODIO</b>	<b>10</b>
<b>CLORURO DE CALCIO</b>	<b>10</b>
<b>ÁCIDO SULFÚRICO</b>	<b>20</b>
<b>CAL</b>	<b>UNA SUSPENSIÓN ESCASA</b>
<b>SILICATO DE SODIO</b>	<b>5</b>
<b>BORAX</b>	<b>SOLUCIÓN SATURADA</b>
<b>SULFATO DE SODIO</b>	<b>10</b>

Aunque un análisis poco exhaustivo de la emulsión, proporciona información con la cual se podría tener los resultados deseados, ahorrándose tiempo con los procedimientos de prueba y error. Una gota o dos de las emulsiones representativas colocadas en cada una de las celdas. Se debe permitir una gota adicional de reactivo en la cantidad usada, para no tener un sobre flujo en la celda. Se debe colocar una cubierta de vidrio sobre la celda y el porta objetos sobre la etapa del microscopio, y se debe tener una celda diferente por cada reactivo. Se añade una gota de reactivo al filo de la cubierta de vidrio y se examina la celda para ver si ocurrió el rompimiento de la emulsión o bien observar si existió precipitación de alguna clase, la separación de una capa aceitosa o alguna otra reacción.

Es muy importante determinar la velocidad con la cual ocurren los rompimientos por lo cual se deben anotar los resultados, y los nombres de los reactivos que produjeron los mejores resultados, para ser usados en estudios posteriores a temperaturas más elevadas. Las celdas inactivas deben ser ignoradas y se deben realizar anotaciones de las bajas reacciones de los agentes, sobre la aplicación de calor, ya que algunos reactivos pueden tener resultados inversos.

### **Investigaciones con pruebas en probetas.**

El siguiente paso en la investigación es el efecto de la temperatura. Pocos reactivos pueden ser tratados en prueba de probetas a altas y bajas temperaturas. Las probetas utilizadas en estas investigaciones son las de 1/2 pg a 3/4 de pg de diámetro y de 6 pg de largo. La probeta es llenada con una emulsión a una profundidad de 1 1/2 pg aproximadamente, además se agrega una pequeña cantidad predeterminada de reactivo y la mezcla se agita completamente, los resultados de la prueba son grabados a intervalos de 1 minuto durante los primeros 5 minutos y después a intervalos de 5 minutos hasta transcurrir los 20 minutos.

Estos resultados muestran el porcentaje de la emulsión y el porcentaje de agua libre. Las cantidades de reactivos se prueban separadamente grabando sus resultados. Las pruebas se repiten usando una emulsión que ha sido precalentada a varias temperaturas dentro de un rango de 160° F a 200° F y los resultados se graban para compararlos.

La tercera muestra y final se realiza con una mezcla de emulsión y reactivo calentadas a 160°F y 200°F. Los reactivos que produzcan un rompimiento de la emulsión sin calor, serán más económicos incluso aunque cuesten más debido a el ahorro de corriente o combustible. Por lo que todas las facetas deben ser consideradas para seleccionar el reactivo correcto.

### **Investigación piloto a escala.**

Las investigaciones piloto a escala se deben llevar a cabo antes de cualquier decisión final sobre los reactivos y procesos a realizarse.

Si las cantidades de emulsión son pequeñas, se debe aplicar un tratamiento en tanques con fondo de cono. Los grandes volúmenes pueden requerir procesos continuos de flujo.

Los químicos usados para ajustar el pH., pueden ser introducidos a la corriente de la emulsión en la misma línea en que se bombea al tanque de tratamiento, reaccionando con jabones sódicos o cambiando las características interfaciales de la emulsión. Después de que la emulsión se descarga en el tanque de tratamiento, la mezcla permanece más tiempo en contacto con el reactivo por la recirculación por medio de bombas o agitación mecánica.

Los sólidos divididos y los sedimentos pueden estabilizarse con la emulsión y pueden contribuir a la ineficacia de los tratamientos eléctricos o químicos. En estas emulsiones la eliminación física de los sólidos o los sedimentos es necesaria para una completa disolución de la emulsión. Esto se puede llevar a cabo por medio de la filtración a través de una capa de tierra de diatomeas en un continuo filtro rotatorio. Esta filtración separa los sólidos del líquido, dejando aceite libre y agua con el filtrado, que al almacenarlo con calor, se permitirá la separación por gravedad del aceite y del agua.

El manejo de las emulsiones agua/aceite en una planta a escala requiere de la utilización adecuada de un tanque para permitir la segregación, concentración y calentamiento, sin importar el proceso desemulsificador a utilizarse.

El manejo de las emulsiones aceite/agua requieren también una capacidad de almacenamiento previo al tratamiento, a excepción de un tratamiento continuo con un flujo constante.

## IV.4.3 TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

### Teoría básica

La operación de cualquier proceso de tratamiento biológico depende de las reacciones bioquímicas producidas por los microorganismos en el sistema de tratamiento.

Es importante por lo tanto que el ingeniero de eliminación de desperdicios tenga una comprensión cabal de la microbiología y bioquímica fundamental si desea diseñar sistemas de tratamiento de desperdicios biológicos más eficientes.

Es también importante que los operadores de las plantas de tratamiento tengan una comprensión de las reacciones microbiales fundamentales, para obtener la máxima productividad del sistema de tratamiento (MICROBIOLOGY FOR SANITARY ENGINEERS," 27).

### Características de los microorganismos.

Las características químicas de los contaminantes en los desperdicios acuosos determinan que los microorganismos crecerán en cualquier sistema de tratamiento de desperdicios biológicos. Los microorganismos principales y de mayor importancia son las bacterias, las plantas de células únicas, que pueden transformar más materiales orgánicos. Las bacterias son responsables de la estabilización de la mayoría de los contaminantes orgánicos en los desperdicios acuosos.

Los hongos, o las plantas multicelulares carentes de clorofila juegan un papel importante en la estabilización orgánica bajo condiciones ambientales seguras. Los hongos son capaces de transformar también casi cada componente natural u orgánico mezclado conocido, sin embargo, son incapaces para competir contra las bacterias bajo condiciones ambientales óptimas. Los hongos pueden predominar sobre las bacterias siempre que el PH sea bajo, menor de seis. Cuando hay una deficiencia de nitrógeno; o cuando la concentración de oxígeno disuelta es baja, entre 0 y 0.5 mg. por litro.



Las algas son las plantas más simples que contienen clorofila y son capaces de utilizar la luz solar como fuente de energía. Las algas no son importantes en la estabilización de materia orgánica, pero ayudan a las bacterias y los hongos, produciendo oxígeno para mantener un entorno aeróbico.

La relación simbiótica entre las bacterias y las algas juega un papel importante en las presas de oxidación en el recibo de las afluentes.

Las bacterias transforman la materia orgánica con la producción de dióxido de carbono y amoníaco como productos finales.

Las algas utilizan el dióxido de carbono, amoníaco y fosfato para sintetizar nuevas células en la presencia de luz solar, y liberan oxígeno como un producto final. El oxígeno liberado por las algas puede ser causado por las bacterias para oxidar la materia orgánica, de ese modo se evitan los olores y las condiciones para su desarrollo.

Los animales microscópicos no pueden encontrar materia orgánica suficiente en los desperdicios acuosos para sostener su crecimiento normal. Dependen de las bacterias para concentrar la materia orgánica en el protoplasma bacteriano, y entonces se alimentan sobre las bacterias. Los animales más simples son los protozoarios, la función principal de los protozoarios consiste en retirar el exceso de bacterias no floculadas de los desperdicios acuosos, de ese modo produce una afluente de agua clara.

El tamaño de protozoarios es fácil de observar bajo el microscopio en una amplificación de solo 100x.

Es posible determinar las características del sistema de tratamiento de desperdicios biológicos observando la predominación relativa de los protozoarios y otros animales más complejos. Las formas más evolucionadas de animales microscópicos encontrados en los sistemas de tratamiento de desperdicio biológicos incluyen los protozoarios y los crustáceos con una ocasional infestación de nematodos. Los protozoarios son animales multicelulares que se alimentan principalmente de bacterias. Las características de identificación principales tienen dos círculos en la cabeza que dan la apariencia de rotar al contrario de una rueda. Los crustáceos son también animales multicelulares pero se distinguen por su cáscara protectora que es muy dura. Los protozoarios y los crustáceos se encuentran solamente en sistemas biológicos altamente purificados.

Los nematoides son gusanos microscópicos de los cual poco se conoce en lo que concierne a su significación en sistemas de tratamiento de desperdicio biológicos.

### **Fuente de microorganismos.**

Los microorganismos que transforman los contaminantes orgánicos en los desperdicios acuosos, están altamente especializados en sus reacciones bioquímicas y son fácilmente obtenidos.

Originalmente se penso que esas culturas ofrecían ventajas especiales sobre las bacterias normales, por otro lado las culturas puras, especialmente de bacterias cultivadas para estos tipos específicos de tratamientos de aguas aceitosas, ha mostrado por experiencia que las culturas especiales, no tienen ventajas sobre las bacterias que crecen o maduran de la contaminación natural.

El suelo es la fuente principal de microorganismos capaces de estabilizar o neutralizar cualquier contaminante orgánico. El sedimento biológico de las aguas domésticas se debe llevar a las plantas de tratamiento que frecuentemente son la fuente más abundante de microorganismos.

Los sedimentos domésticos no siempre contienen microorganismos adecuados ni en grandes cantidades, pero es posible simular el crecimiento de los microorganismos clave a través de aumentos e incrementos en las cargas de desperdicios. Después de varios ciclos de alimentación los microorganismos deseados predominan y los indeseables mueren fuera.

Los microorganismos se agrupan dentro de 3 reinos: Animales, Plantas y Protistas a continuación se presenta un resumen de las características de estos organismos (ver tabla IV.5).

### **Bacterias.**

Las bacterias son protistas de células individuales, las cuales utilizan alimentación soluble y se encuentran donde quiera que exista humedad y donde este disponible alguna fuente alimenticia.

TABLA IV.5

## REINOMIEMBROS REPRESENTATIVOS CARACTERIZACIÓN

ANIMAL	ROTÍFEROS	
	CRUSTÁCEOS	PLURICELULAR
PLANTAS	MUSGOS	CON DIFERENCIACIÓN
	HELECHOS	EN EL
	PLANTAS DE SEMILLAS	TEJIDO
PROTISTA:		
ALTO	ALGAS	UNICELULAR O
	PROTOZOARIOS	PLURICELULAR
	HONGO	SIN DIFERENCIACIÓN
	MOHO LIMOSO	EN EL
BAJO	ALGA AZUL-VERDE	TEJIDO
	BACTERIA	

Su modo usual de reproducción es por fisión binaria, aunque algunas especies se reproducen sexualmente o por medio de retoños. Su forma puede ser esférica, cilíndrica o helicoidal. La temperatura y el pH. tienen un papel vital en la existencia de las bacterias. De acuerdo al rango de temperatura en que muestran funciones positivas se clasifican de la siguiente manera:

TIPO	TEMPERATURA	
	RANGO	OPTIMO
CRIOFÍLICA	-2-30	12-18
MESOFÍLICA	20-45	25-40
TERMOFÍLICA	45-75	55-65

El pH. de una solución es también un factor determinante en el crecimiento de organismos, los demás organismos no pueden tolerar un pH. de niveles arriba de 9.5 o menos de 4.0, el P.H. óptimo para su crecimiento es de 6.5 a 7.5.

### **Hongos.**

Los hongos se clasifican por el modo de reproducirse, que puede ser sexual o asexualmente por medio de fisión binaria, retoños, producto de esporas o bien por unidades microscópicas llamadas micelios los cuales en forma colectiva se llaman miceliones.

Los demás hongos son estrictamente aeróbicos y tienen la habilidad para crecer bajo condiciones de humedad bajas, capaces de tolerar un medio ambiente con un P.H. relativamente bajo. El P.H. para las demás especies es de 5.6 en un rango de 2 a 9. Los hongos requieren bajas cantidades de Nitrógeno, aproximadamente la mitad de lo que requieren las bacterias. Esta habilidad de los hongos para sobrevivir con un P.H. bajo y en condiciones limitadas de nitrógeno es muy importante para los tratamientos biológicos de algunos de los desperdicios orgánicos de las aguas aceitosas.

### **Algas.**

Las algas son unicelulares o pluricelulares, son indeseables en los suministros de agua a causa de que producen malos olores. Las algas son valiosas por su habilidad para producir oxígeno a través del mecanismo de la fotosíntesis, esto es vital para la ecología del agua, el alga es requerida para suministrar oxígeno a las bacterias. Durante el día el alga utiliza bióxido de carbono lo cual incrementa el P.H., y por la noche el alga produce bióxido de carbono ocasionando una disminución del P.H. El alga requiere compuestos orgánicos para reproducirse, estos nutrientes son el bióxido de carbono, el Nitrógeno, el Fósforo, el Hierro, cobre y Molibdeno.

### **Protozoarios.**

Los protozoarios son animales unicelulares aeróbicos o anaeróbicos de magnitud mayor que las bacterias, su alimentación es a base de bacterias y su efecto es el de pulir las afluentes de aguas aceitosas en los procesos de tratamientos biológicos consumiendo materia orgánica.

Los protozoarios se dividen en varios grupos de acuerdo a su forma tales como: Las Sarcodinas, Las Mastigóforas, Los esporozoarios, Las infusorias o ciliadas y las Suctorias como se muestra en la tabla IV.6.

**TABLA IV.6**

<b>PROTOZOARIO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
SARCODINAS	TIENE PSEUDOPODOS O PIES FALSOS LOS CUALES USA PARA SU MOVIMIENTO Y LA CAPTURA DE SUS ALIMENTOS.
MASTIGÓFORAS	TIENE UN FLAGELO QUE UTILIZA PARA SU MOVIMIENTO
ESPOROZOARIOS	ES PRODUCTO DE ESPORAS Y PARÁSITOS
INFUSORIAS CILIADAS	O SE MUEVE POR MEDIO DE CILIAS O BELLOS DE LA MEMBRANA DE LA CÉLULA.
SUCTORIAS	TIENEN GRANDES TENTÁCULOS LOS CUALES USAN PARA CAPTURAR A OTROS PROTOZOARIOS.

### **Protíferos.**

Es un animal pluricelular y aeróbico su nombre se deriva de que tiene 2 partes de cilla o bello rotante en su cabeza los cuales emplea para moverse y capturar su alimento. Los rotíferos son muy efectivos consumiendo bacterias dispersas, floculadas y pequeñas partículas de materia orgánica. Su presencia en una afluyente de aguas con desperdicios aceitosos indica un proceso de purificación biológica aeróbica altamente eficiente.

### **Crustáceos.**

Como el rotífero el crustáceo es un animal aeróbico y pluricelular. A diferencia del rotífero, el crustáceo tiene un cuerpo duro o carcaza, estos son una fuente de alimentación para los peces.

Excepto por su presencia ocasional en las lagunas de oxidación de baja carga, estos no existen en sistemas de tratamiento biológico en un grado notable su presencia en una afluyente indica un bajo contenido de materia orgánica y un alto contenido de oxígeno disuelto.

## **Virus.**

Para un tratamiento biológico adecuado se requieren colonias mixtas de todos estos elementos, los virus son las estructuras biológicas más pequeñas, que contienen toda la información necesaria para su propia reproducción y son tan pequeños que solo pueden ser vistos con la ayuda de un microscopio electrónico.

Estos parásitos requieren hospedaje para alojarse en el cual dirigen su maquinaria compleja a la reproducción de nuevas partículas de virus, muchos de estos virus producen enfermedades al ser humano por lo que resulta una gran responsabilidad para los encargados del manejo de este tipo de plantas con tratamientos biológicos por lo cual son costosas, el control de estos virus se lleva a cabo por medio de la clorinación en las afluentes de la planta.

## **Teoría Del Proceso**

Existen actualmente tres sistemas generales para el tratamiento biológico de aguas de desecho: filtros de goteo, sedimento activado, y estanques de oxidación (lagunas). Aunque la teoría básica para todos los procesos biológicos de aguas de desecho es el mismo, existen variaciones entre los tres procesos generales, por lo que requieren una discusión separada de cada proceso.

## **FILTROS DE GOTEO**

### **SEDIMENTO ACTIVADO**

### **ESTANQUES DE OXIDACIÓN (LAGUNAS)**

#### IV.4.3.1 FILTROS DE GOTEO

Durante años, los filtros de goteo fueron el pilar de los sistemas biológicos para el tratamiento de las aguas de desperdicio, por su sencillez de diseño y operación. Estos filtros fueron desplazados como el principal sistema de tratamiento biológico por el sedimento activado, debido a que este último produce una mejor calidad de afluente. Los filtros de goteo son simplemente reactores biológicos con un medio fijo, en los cuales las aguas de desperdicio se diseminan sobre la superficie de un medio sólido donde crecen los microbios, que eliminan los compuestos orgánicos de las aguas de desperdicio que fluyen sobre el medio fijo.

El oxígeno del aire permite que ocurran reacciones aeróbicas en la superficie de la capa microbiana, pero en el fondo de esta capa, donde el oxígeno no penetra, tiene lugar un metabolismo anaeróbico.

Originalmente, el medio en los filtros de goteo fue de roca, pero en la actualidad se ha reemplazado por plástico, que proporciona un mayor espacio vacío por unidad de área superficial y ocupa menos volumen dentro del filtro. El medio de plástico permite que en los filtros de goteo la profundidad del medio se incremente de 1.8 m (6 ft) a 4.2 m (14 ft) o, incluso, hasta 6.0 m (20 ft). Por lo general, las aguas de desperdicio se introducen por medio de un distribuidor giratorio o una tobera de rocío fijo. El rocío o la descarga de las aguas de desperdicio por encima del medio del filtro de goteo permite una mejor distribución sobre el medio y la transferencia de oxígeno antes de llegar al medio. El afluente que sale del medio del filtro se colecta en un sistema de subdrenaje de arcilla y porcelana o en un tanque colocado debajo del medio de plástico. Es importante que el fondo del filtro de goteo esté abierto al aire, para que éste circule rápidamente a través del filtro y lleve el oxígeno necesario para las reacciones microbianas.

Si se requiere un afluente de alta calidad, los filtros de goteo deben operarse a bajas velocidades de carga hidráulica y de carga orgánica. Los filtros de goteo con baja velocidad se operan con cargas hidráulicas que varían entre  $2.2 \times 10^{-5}$  y  $4.3 \times 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> s) [2 a 4 millones de gal/(acre día)]. Los filtros de goteo con alta velocidad están diseñados para operar con cargas hidráulicas que varían entre  $10.8 \times 10^{-5}$  y  $40.3 \times 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-s [10 a 40 millones de gal/(acre-día)] y cargas orgánicas hasta de 1.4 kg/(m<sup>3</sup> día) [90 lb BODS/(1000 ft<sup>3</sup> día)].

Los filtros de goteo con medio de plástico se han diseñado para operar con cargas hidráulicas hasta de  $108 \times 10^{-5} \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{-s})$  [100 millones de gal/(acre-día)] o incluso más elevadas, y cargas orgánicas hasta de  $4.8 \text{ kg}/(\text{m}^3 \text{ día})$  [1300 lb BODS/(1000 ft<sup>3</sup>/ día)]. Los filtros de goteo de baja velocidad producen una reducción mayor a 90% de la BOD5 y los sólidos en suspensión, en tanto que los de alta velocidad producen una reducción de 65 a 75% de la BODS. Los filtros de goteo con medio de plástico producen una reducción de 59 a 85% de la BOD5, que depende de la velocidad de carga orgánica. Es importante reconocer que los desperdicios industriales concentrados requieren mayor circulación hidráulica alrededor de los filtros de goteo para obtener la velocidad adecuada de carga hidráulica sin cargas orgánicas excesivas. Con altas velocidades de circulación, la carga orgánica se distribuye sobre todo el volumen del filtro de goteo, para una eliminación orgánica máxima. Un tiempo corto de retención del fluido, dentro del filtro de goteo es la causa principal de una eficiencia mala del tratamiento.

**a) Contactores biológicos giratorios (RBC).** Lo último en filtros de goteo son los contactores biológicos giratorios con una serie de discos circulares de plástico, cuyo diámetro varía entre 3.0 y 3.6 m (10 a 12 ft), sumergidos hasta aproximadamente 40% del diámetro dentro del tanque de contacto. Los discos RBC giran a una velocidad que varía entre 2 y 5 r.p.m. A medida que los discos se desplazan a través de las aguas de desperdicio, se les adhiere una pequeña capa. Cuando los discos salen a la atmósfera, los microbios sobre la superficie del disco oxidan los compuestos orgánicos; por consiguiente, sólo se requiere una pequeña cantidad de energía para suministrar el oxígeno necesario para el tratamiento del agua de desperdicio. A medida que los microbios se acumulan sobre los discos de plástico, la velocidad de corte creada por el movimiento de los discos a través del agua hace que el exceso de microbios se elimine de los discos y descargue en el tanque final de sedimentación.

Los contactores biológicos giratorios son muy populares para el tratamiento de los desperdicios industriales, por su tamaño relativamente pequeño y los bajos requerimientos de energía. Por desgracia, han ocurrido varios problemas que es necesario reconocer antes de utilizar los RBC.



Los desperdicios industriales concentrados tienden a crear crecimientos excesivos de microbios que no se cortan fácilmente y producen velocidades elevadas de demanda de oxígeno, con la generación de sulfuro de hidrógeno y olores desagradables. Los crecimientos microbianos altos han dañado algunos de los discos y causado fallas de los ejes. En la actualidad, los discos se recubren con cubiertas de plástico para prevenir la ocurrencia de olores molestos. En los sistemas cubiertos de RBC es necesario forzar el paso del aire a través de las unidades y el aire debe tratarse químicamente antes de descargarlo al medio ambiente. La recirculación del flujo del agua de desperdicio alrededor de las unidades de RBC puede distribuir la carga en todas las unidades y reducir los crecimientos microbianos iniciales altos. Las unidades de RBC también trabajan mejor con cargas orgánicas uniformes que requieren tanques de oleaje para muchos desperdicios industriales. El resultado neto ha sido que el costo de las unidades RBC se aproxima al de otras unidades de tratamiento, en términos de la materia orgánica estabilizada.

Los contactores biológicos giratorios deben diseñarse con base en las velocidades de carga hidráulica y orgánica. Por lo general, las velocidades de carga hidráulica son hasta de  $0.16 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{día})$  [ $4 \text{ gal}/(\text{ft}^2\text{-día})$ ] de área superficial y velocidades de carga orgánica hasta de  $44 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ día})$  [ $9 \text{ lb BODS}/(\text{ft}^2 \text{ día})$ ]. La eficiencia del tratamiento depende, básicamente, del tiempo de retención del fluido y de la velocidad de carga orgánica. Al igual que los filtros de goteo con baja velocidad, las unidades RBC con bajas velocidades de carga orgánica producen nitrificación.

#### **IV.4.3.2 SEDIMENTO ACTIVADO**

El sedimento o lodo activado ha sido el tratamiento biológico para aguas de desperdicio más difundido, por la alta calidad del afluente. Los elevados requerimientos de energía para el sedimento activado hacen que se cuestione el empleo continuo de este sistema. No hay duda de que este tratamiento consume energía considerable, pero no existe manera de tratar las aguas de desperdicio sin consumir cierta cantidad definida de energía. Deben verse con reserva los sistemas de sedimento activado que proporcionan un alto nivel de tratamiento con un consumo mínimo de energía.

Modificaciones. Las modificaciones de los sistemas de sedimento activado ofrecen una selección considerable en los procesos. El sistema más popular para los desperdicios industriales es el de sedimento activado con mezclado total, por su capacidad de absorber mejor las variaciones de carga que otras modificaciones.

La estabilización por contacto es una modificación al tratamiento con lodo activado, que es el más adecuado para las aguas de desperdicio que tienen alto contenido de sólidos en suspensión y baja concentración de compuestos orgánicos solubles. La estabilización por contacto utiliza un tanque de mezclado a corto plazo, para adsorber los sólidos en suspensión y metabolizar los compuestos orgánicos solubles, un tanque de sedimentación para la separación de los sólidos y un tanque de reaireación para la estabilización de los compuestos orgánicos en suspensión.

En realidad, los sistemas de aireación extensa son sistemas de sedimento activado con mezclado total y aireación a largo plazo. En ellos se utilizan periodos de aireación de 24 a 48 h y los sólidos suspendidos en un licor altamente mezclado, para proporcionar una estabilización completa de los compuestos orgánicos y la digestión aerobia del sedimento activado, en el mismo tanque de aireación.

El dique de oxidación es otra forma popular de sistema de aireación extensa, con el cual se utiliza aireación mecánica. Los sistemas de oxígeno puro se diseñan para tratar desperdicios industriales concentrados, en unidades en serie con mezclado total que tienen periodos de contacto relativamente cortos.

Una de las últimas modificaciones al sistema de sedimento activado utiliza carbón activado en polvo para adsorber los compuestos orgánicos complejos y ayudar a la separación de los sólidos. En otra modificación se utilizan filtros de goteo con medio de pino gigante de California antes del tanque de aireación a corto plazo, con recirculación del licor mezclado sobre la torre empacada con el medio de pino, para proporcionar un crecimiento considerable de los microbios sobre el pino y en el tanque de aireación.

En el esquema siguiente aparecen los diagramas esquemáticos de las diferentes modificaciones al sistema de sedimento activado:

- a) Sistema convencional
- b) Aireación por pasos
- c) Estabilización por contacto
- d) Mezclado completo
- e) Oxígeno puro
- f) Biofiltración activada
- g) Dique de oxidación

En cada proceso de lodo o sedimento activado se utiliza un tanque de aireación para la estabilización del desperdicio, con la conversión de los componentes orgánicos a sólidos microbianos nuevos y un tanque de sedimentación para la separación de los sólidos. Por lo general, los sólidos se recirculan del tanque de sedimentación al de aireación, como simiente para los microorganismos. Ya que se producen más sólidos que los que se pueden oxidar, siempre existen algunos sólidos que deben desecharse continuamente del sistema de sedimento activado. Los sistemas de aireación a corto plazo requieren un desecho mayor de sólidos que los sistemas a largo plazo.

### *Sistemas de aireación.*

Estos sistemas controlan el diseño de los tanques de aireación. El equipo de aireación tiene dos funciones principales: el mezclado y la transferencia de oxígeno. En los equipos de aireación difusa se utiliza un soplador de desplazamiento positivo, con velocidad constante, o un soplador de turbina y alta velocidad, para ajustar con facilidad los volúmenes de aire. Los difusores de aire se instalan a lo largo de uno de los lados del tanque de aireación, o se diseminan en todo el fondo del tanque y pueden ser difusores de burbuja fina o gruesa. Los primeros son más eficientes para la transferencia de oxígeno, pero requieren un equipo mayor para la limpieza del aire con objeto de impedir que se tapen con las impurezas del aire. El equipo de aireación superficial mecánica es más eficiente que el de aireación difusa, pero no tan flexible. Los factores económicos han dictaminado el empleo de aireadores de gran potencia, pero la configuración del tanque favorece el uso de un número mayor de aireadores de potencia menor. Los diques de oxidación se utilizan aireadores horizontales tipo rotor.

El problema básico en los aireadores superficiales mecánicos es el mezclado, porque son una bomba de suministro puntual con capacidad limitada. La experiencia ha demostrado que los cojinetes son el problema más grave del equipo de aireación mecánica. La acción del oleaje generado en el tanque de aireación tiende a producir esfuerzos laterales sobre los cojinetes, que dan por resultado fallas y mayores costos de mantenimiento. Las unidades de aireación superficial mecánica a baja velocidad presentan menos problemas que los equipos de alta velocidad.

Los tanques con una profundidad superior a 3 m (10 ft) requieren tubos de arrastre para asegurar un flujo hidráulico adecuado en el tanque de aireación. El cortocircuito es uno de los principales problemas del equipo de aireación mecánica. La combinación de los sistemas de aireación mecánica y por difusión goza de popularidad en los tratamientos de desperdicios industriales con cargas orgánicas variables. Los mezcladores mecánicos proporcionan el mezclado del fluido, con aireación difusa variable para las diferentes velocidades de transferencia de oxígeno.

Los sistemas de aireación difusa transfieren de 20 a 40 mg/(l de O<sub>2</sub>-h). Los sistemas de aireación combinada antes mencionados pueden transferir hasta 65 mg/(l de O<sub>2</sub>-h), en tanto que los aireadores superficiales mecánicos proporcionan hasta 90 mg/(l de O<sub>2</sub> h). Los sistemas de oxígeno puro suministran la velocidad máxima de transferencia de oxígeno, hasta 150 mg/(l de O<sub>2</sub>-h).

El equipo de aireación debe proporcionar el oxígeno suficiente para cubrir la demanda máxima de oxígeno, de otra manera el sistema no suministrará el tratamiento adecuado. Por este motivo, la demanda máxima de oxígeno y la velocidad de transferencia para el equipo deseado determinan las dimensiones del tanque de aireación en términos del tiempo de retención. Los aspectos económicos establecen el equilibrio que existe entre el tamaño del tanque de aireación y las dimensiones del equipo de aireación. A medida que el costo de la potencia se incrementa, las consideraciones económicas favorecerán la construcción de un tanque de aireación más grande y aireadores más pequeños. También es igualmente importante examinar el patrón de flujo hidráulico alrededor de cada aireador, para asegurar la eficiencia máxima de transferencia de oxígeno. Un espaciamiento inadecuado del equipo de aireación puede llevar al desperdicio de energía.

No existe una forma o tamaño estándar del tanque de aireación pues pueden ser circulares, cuadrados o rectangulares. Los tanques poco profundos presentan más problemas de mezclado que los profundos. Con todo, la profundidad de los tanques de aireación varía de 0.6 m (2 ft) a 18 m (60 ft). Los sistemas con dique de oxidación tienden a ser poco profundos, en tanto que algunos sistemas de aireación difusa a alta velocidad utilizan tanques profundos, para proporcionar una transferencia de oxígeno más eficiente.

Con independencia del equipo de aireación utilizado, las velocidades de transferencia de oxígeno deben proporcionar de 0.6 a 1.4 kg de oxígeno/kg de la BOD5 (0.6 a 1.4 lb de oxígeno/lb de la BOD5), estabilizados en el tanque de aireación para la demanda de oxígeno carbonoso. La oxidación del nitrógeno puede incrementar la demanda de oxígeno a una velocidad de 4.3 kg (4.3 lb) de oxígeno/kg (lb) de nitrógeno amoniacal oxidado. Con bajas velocidades de transferencia de oxígeno, será necesario eliminar un exceso mayor de sedimento activado que el necesario a velocidades elevadas de transferencia de oxígeno. En este caso, nuevamente las consideraciones económicas del manejo del sedimento deben compararse con el costo de la transferencia de oxígeno. En este caso, nuevamente las consideraciones económicas del manejo del sedimento deben compararse con el costo de la transferencia de oxígeno. La cantidad de sedimento o lodo activado a desechar depende de las características del agua de desperdicio.

Los sólidos inertes en suspensión que entran al sistema de tratamiento deben eliminarse con el exceso de sedimento activado. Los compuestos orgánicos solubles se estabilizan, al convertir una parte de éstos en sólidos en suspensión, que producen de 0.3 a 0.8 kg (0.3 a 0.8 lb) de sólidos volátiles en suspensión/kg (lb) de la BOD5 estabilizada. Los sólidos biodegradables en suspensión presentes en las aguas de desperdicio dan por resultado la destrucción de los sólidos originales suspendidos y su conversión en una nueva forma. Dependiendo de las características químicas de los sólidos biodegradables en suspensión, el factor de conversión varía entre 0.7 y 1.2 kg (0.7 y 1.2 lb) de sólidos microbianos producidos/kg (lb) de sólidos en suspensión destruidos. Si los sólidos en suspensión producidos por el metabolismo no se desechan del sistema, con el tiempo saldrán con el afluente.

A pesar de que se han realizado considerables esfuerzos para el desarrollo de sistemas de sedimento activado, que consuman en su totalidad el exceso de sólidos ninguno de dichos sistemas ha demostrado ser práctico. El concepto de la oxidación total de exceso de sedimento es fundamentalmente falso y debe reconocerse como tal.

### *Tanques de sedimentación.*

Estos tanques son parte integral de cualquier sistema de sedimento activado. Si se desea obtener un afluente de alta calidad es necesario separar los sólidos en suspensión del líquido tratado. Los tanques circulares de sedimentación con diversos tipos de colectores hidráulicos de sedimento se han convertido en el sistema estándar de sedimentación secundaria. Los tanques cuadrados con pared común se utilizan para el modelo compacto con tanques múltiples. La mayor parte de los tanques secundarios de sedimentación tienen las entradas de alimentación al centro y las salidas con vertederos periféricos. Recientemente se ha desarrollado el empleo de entradas periféricas, con controladores de flujo tipo orificio sumergido y salidas que pueden ser por medio de un vertedero central o un vertedero adyacente al canal periférico de entrada.

Aparte del control de flujo, las consideraciones básicas de diseño se han centrado en las velocidades superficiales de sobreflujo, el tiempo de retención y la velocidad de sobreflujo del vertedero. Las velocidades superficiales de sobreflujo se han reducido de  $33 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ día})$  [ $800 \text{ gal}/(\text{ft}^2 \text{ día})$ ] a  $24 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ día})$  [ $600 \text{ gal}/(\text{ft}^2 \text{ día})$ ], a  $16 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ día})$  [ $400 \text{ gal}/(\text{ft}^2 \text{ día})$ ] e incluso, en algunos casos, hasta  $12 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ día})$  [ $30 \text{ gal}/(\text{ft}^2 \text{ día})$ ], con base en los flujos promedios del desperdicio no tratado. Los resultados de operación no han demostrado que menores velocidades superficiales de sobreflujo mejoren la calidad del afluente, lo cual hace que en la mayor parte de los sistemas la selección de diseño sea  $33 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ día})$  [ $800 \text{ gal}/(\text{ft}^2 \text{ día})$ ]. Se ha descubierto que el tiempo de retención es un factor importante de diseño. El tiempo promedio es de 2 h, con base en los flujos de desperdicio no tratado. Periodos de retención más largos generan problemas de elevación del sedimento, en tanto que periodos más cortos no suministran una buena separación de los sólidos para velocidades de flujo con alto retorno de sedimento.

Las velocidades de sobreflujo del afluente del vertedero se han limitado a 186 m<sup>3</sup>/(m-día) [15 000 gal/(ft día)] con una tendencia a reducir la velocidad a 124 m<sup>3</sup>/(m día) [10 000 gal/(ft-día) 15 000 gal/(ft día)]. Al utilizar vertederos de salida de dos lados y volados sobre la periferia del tanque se obtienen menores velocidades de sobreflujo del vertedero.

Desafortunadamente el ajuste adecuado de los vertederos de dos lados crea más problemas hidráulicos que la velocidad de sobreflujo del vertedero. Los datos de campo han demostrado que la calidad del afluente no se ve realmente afectada por velocidades de sobreflujo del vertedero de 990 m<sup>3</sup>/(m día) [80 000 gal/(ft día)] o incluso 1240 m<sup>3</sup>/(m día) [ 100 000 gal/(ft día)] en un tanque de sedimentación con un diseño adecuado. Desde el punto de vista de la operación, un solo vertedero periférico es lo mejor para los tanques secundarios de sedimentación, porque se puede ajustar y mantener limpio fácilmente.

La profundidad del tanque se determina con base en el tiempo de retención y la velocidad superficial de sobreflujo. A medida que se reducen estas velocidades también disminuye la profundidad del tanque, para evitar un tiempo excesivo de retención. Se reconoce que la profundidad es un parámetro válido de diseño y en algunos sistemas es más importante que el tiempo de retención. A medida que se incrementan las concentraciones de los sólidos en suspensión del licor mezclado (MLSS) también debe incrementarse la profundidad, cuyo valor mínimo es de 3.0 m (10 ft) para operaciones variables con profundidades hasta de 4.5 m (15ft), si es necesario mantener concentraciones MLSS de 3000 mg/l, en condiciones hidráulicas variables. Con concentraciones MLSS superiores 34000 mg/l, la profundidad del tanque de sedimentación debe incrementarse a 6.0 m (20 ft). En este caso, lo importante es dejar un margen libre sobre la capa de sedimento asentado, para que los flujos hidráulicos variables no eleven los sólidos por encima del vertedero de salida.

Placas desviadoras de espuma alrededor del tanque de sedimentación y recolectores radiales de espuma son equipo estándar, para asegurar que los sólidos que se elevan y otros materiales espumosos se eliminen tan pronto como se forman. Los tubos hidráulicos para la recolección del sedimento han reemplazado el pozo central de sedimento, pero han creado varios problemas de operación. Estos tubos se diseñaron para eliminar el sedimento asentado a una velocidad mayor que la de los raspadores convencionales de sedimento.

Para obtener una buena distribución hidráulica en los tubos recolectores de sedimento es necesario incrementar la velocidad de flujo de retorno del sedimento y disminuir su concentración. El incremento en el flujo total de entrada al tanque de sedimentación crea un aumento de las fuerzas que elevan la capa de sedimento asentado en la pared del tanque, lo que causa una pérdida excesiva de sólidos en suspensión y reduce la calidad del afluente. Los datos de operación tienden a favorecer los tanques convencionales de sedimentación secundaria en comparación con los sistemas hidráulicos de recolección del sedimento. Por lo general, las velocidades de retorno de sedimento varían entre 25 y 50% para concentraciones MLSS hasta de 3300 mg/l. La mayor parte de las bombas de retorno de sedimento son tipo centrífugo, con capacidades hasta de 100% del flujo de desperdicio sin tratar.

En el asentamiento por gravedad se puede concentrar sedimento activado hasta una concentración de 10 000 mg/l, pero los tubos hidráulicos de recolección de sedimento operan mejor a concentraciones inferiores a 8000 mg/l. El exceso de sedimento activado se puede eliminar a través del sistema de retorno de sedimento o mediante una tolva de desecho de sedimento, cerca del centro del tanque. Las bajas concentraciones de sólidos dan por resultado grandes volúmenes de sedimento activado de desecho, en comparación con el sedimento primario. Desafortunadamente, las características físicas del sedimento activado de desecho impiden una concentración significativa sin el consumo considerable de energía. El espesamiento por gravedad puede producir una concentración de 2% de sólidos, en tanto que la flotación con aire produce 4%. Las centrifugas pueden concentrar el sedimento activado hasta 10 o 15% de sólidos, pero la captación es limitada. Los filtros al vacío pueden igualar el rendimiento de las centrifugas si el sedimento se acondiciona químicamente. Los filtros prensa y los de banda y prensa pueden producir tortas con 15 a 25% de sólidos. Es muy importante que el exceso de sedimento activado formado en los tanques de aireación se elimine en forma regular si no es así se deteriora la calidad del afluente. Se deben tomar todas las medidas necesarias para asegurar que los sistemas de espesamiento de sedimento no controlen las operaciones del sedimento activado.



Es necesario disponer de equipo adicional para el manejo del sedimento durante el mantenimiento del equipo de espesamiento de sedimento. En ningún momento deben utilizarse los tanques finales de sedimentación para almacenar sedimento, salvo el tiempo requerido por las variaciones diarias de operación.

#### IV.4.3.3 ESTANQUES DE OXIDACIÓN (LAGUNAS)

Los estanques de oxidación o lagunas son sistemas para el tratamiento de las aguas de desperdicio capaces de producir un afluente satisfactorio a bajo costo y con facilidad de operación.

##### a) *Lagunas facultativas.*

Estas lagunas se establecen para utilizar reacciones anaeróbicas y aeróbicas. Por lo general, las lagunas facultativas constan de dos o más celdas en serie. Los sólidos sedimentables tienden a asentarse en la primera celda y sufren un metabolismo anaeróbico, con la producción de ácidos orgánicos y metano gaseoso, que burbujea a la atmósfera. Las algas en la superficie de la laguna utilizan la luz del Sol como energía para convertir el bióxido de carbono, agua y los iones amonio en su protoplasma, con la liberación de oxígeno como producto de desperdicio. Las bacterias aeróbicas utilizan el oxígeno liberado por las algas para estabilizar los compuestos orgánicos solubles y coloidales. Por consiguiente, las bacterias y algas forman una relación simbiótica, como se aprecia en la Fig. No. 5.3. El aspecto interesante de las lagunas facultativas es que la materia orgánica presente en las aguas de desperdicio de entrada no se estabiliza, sino que se convierte en protoplasma microbiano, cuya velocidad de demanda de oxígeno es menor. De hecho, en algunas lagunas facultativas los compuestos inorgánicos de las aguas de desperdicio se convierten en orgánicos, con el incremento total de estos compuestos en el sistema de la laguna.

Las lagunas facultativas se diseñan con base en la carga orgánica, relacionada con la disponibilidad potencial de luz solar. En la parte norte de Estados Unidos, las lagunas facultativas se proyectan sobre la base de 2.2 g/(m<sup>2</sup> día) [20 lb BOD<sub>5</sub>/(acre día)].

En la parte media de este país, la carga orgánica se puede incrementar hasta un nivel de 3.4 a 4.5 g/(m<sup>2</sup> día) [30 a 40 lb BOD<sub>5</sub>/(acre-día)], en tanto que en la parte sur la carga orgánica se puede incrementar a 6.7 g/(m<sup>2</sup> día) [60 lb BOD<sub>5</sub>/(acre-día)]. Generalmente, la profundidad de la laguna se mantiene entre 1.0 y 1.7 m (3 a 5 h). Una profundidad inferior a 1.0 m (3 ft) favorece el crecimiento de plantas acuáticas y permite la cría de mosquitos. En áreas secas, la profundidad máxima se puede incrementar arriba de 1.7 m (5 ft), dependiendo de la evaporación. El mezclado en la mayor parte de las lagunas facultativas depende de la acción natural del viento y, en consecuencia, las lagunas no deben colocarse en áreas donde esta acción se vea limitada.

La calidad del afluente que procede de las lagunas facultativas está relacionada básicamente con los sólidos en suspensión producidos por los microbios vivos y muertos. Un tiempo de retención largo en las lagunas permite que los microbios se mueran y dejen una partícula pequeña, que se asienta lentamente. Los nutrientes liberados por la muerte de los microbios permite que las algas sobrevivan mediante la recirculación de los nutrientes. Por consiguiente, las algas determinan la calidad final del afluente. El empleo de una serie de estanques con estructuras de transferencia bien diseñadas entre ellas permite la máxima retención de las algas dentro de los estanques, con lo que se obtiene un afluente de la mejor calidad. Por lo general, la BOD<sub>5</sub> soluble es de 5 a 10 mg/l, con una BOD<sub>5</sub> total del afluente inferior a 30 mg/l. Los sólidos en suspensión del afluente varían considerablemente con las estaciones del año, en los meses de verano dichos sólidos llegan a un máximo de 70 a 100 mg/l., en tanto que en invierno presentan un mínimo de 10 a 20 mg/l. Si la eliminación de los sólidos suspendidos es esencial, el mejor método disponible hasta el momento es la precipitación química. Los filtros lentos de arena y los de roca se pueden utilizar para la eliminación de los sólidos en suspensión, siempre y cuando la concentración de estos sólidos en el afluente sea relativamente baja, 40 a 70 mg/l.

### **b) *Lagunas aireadas.***

Estas lagunas se originaron para controlar las lagunas facultativas sobrecargadas. Ya que las lagunas presentan una deficiencia de oxígeno, se suministra más oxígeno por medio de aireadores mecánicos de superficie o mediante aireadores por difusión. Los primeros tuvieron una aceptación rápida porque podían agregarse rápidamente a los estanques existentes y trasladarse a puntos estratégicos. Desafortunadamente, las unidades de aireación superficial por flotación y de alta velocidad no fueron eficientes y se requirió gran número de ellas para las lagunas existentes. El problema fue que producían un mezclado deficiente en lagunas poco profundas.

Con el tiempo se agregó equipo de aireación por difusión en lagunas relativamente profundas [3.0 a 6.0 m (10 a 20 h)], y el mezclado se convirtió en el parámetro más importante para una buena transferencia de oxígeno en las lagunas aireadas. Desde el punto de vista económico se descubrió que una laguna aireada y totalmente mezclada con una retención de 24 h proporcionaba el mejor equilibrio entre el mezclado y la transferencia de oxígeno. A medida que se incrementa la carga orgánica, también aumenta el tiempo de retención del fluido. La aireación a corto plazo permite que las bacterias metabolicen los compuestos orgánicos solubles, pero el tiempo no permite el metabolismo de los sólidos en suspensión, que se combinan con los sólidos nos producidos por el metabolismo y salen de la laguna aireada al es tanque de separación de sólidos. Datos obtenidos de lagunas aireadas a corto plazo indican que ocurre un 50% de estabilización de la BOD5 con la conversión de los compuestos orgánicos solubles en células microbianas; en consecuencia, el problema fue la separación y estabilización de estas células.

Los estanques de sedimentación a corto plazo permiten la separación de los sólidos sin un crecimiento significativo de las algas, pero requieren limpiezas con intervalos frecuentes para evitar que se llenen con sólidos y éstos fluyan junto con el afluente. Las lagunas a largo plazo permiten la separación y estabilización de los sólidos, pero también favorecen el crecimiento de las algas, que afecta la calidad del afluente.

Las lagunas aireadas son simplemente reactores que dispersan microbios y permiten la conversión de los componentes orgánicos, presentes en las aguas de desperdicio, en sólidos microbianos, sin estabilización.

Los compuestos orgánicos residuales en solución son muy bajos, inferiores a 5 mg/l de la BOD5. Al agregar oxígeno y mejorar el mezclado, se acelera la reacción del metabolismo microbiano, pero la estabilización de los sólidos microbianos es aún un problema por resolver.

### **c) *Lagunas anaeróbicas.***

Estas lagunas se desarrollaron para el tratamiento de las aguas de desperdicio en las que una fracción importante de los contaminantes orgánicos está constituida por sólidos en suspensión, que pueden eliminarse fácilmente por sedimentación por gravedad. Las lagunas anaeróbicas son relativamente profundas [3.0 a 6.0 m (10 a 20 ft)], con un tiempo corto de retención del fluido (3 a 5 días) a una velocidad elevada de carga de la BOD5, hasta de 3.2 kg/(m<sup>3</sup>·día) [200 lb/(1000 ft<sup>3</sup>·día)]. El metabolismo microbiano en la capa asentada de sólidos produce metano y bióxido de carbono, que suben rápidamente a la superficie y acarrear parte de los sólidos en suspensión.

En las lagunas anaeróbicas se produce rápidamente una capa de espuma o impurezas que retrasa la transferencia de oxígeno y la liberación de gases detestables. El mezclado con una bomba de molienda puede proporcionar un mejor medio ambiente para el metabolismo de los sólidos en suspensión. El factor clave de las lagunas anaeróbicas es un amortiguador adecuado que mantenga el pH entre 6.5 y 8.0. Las lagunas anaeróbicas son específicas para el tratamiento de desperdicios contaminantes ricos en proteínas, ya que los iones amonio reaccionan con el bióxido de carbono y el agua para formar bicarbonato de amonio como amortiguador principal. Los desperdicios con alto contenido de carbohidratos no deben tratarse en lagunas anaeróbicas sin un amortiguador adecuado, porque producen ácidos orgánicos, lo que dificulta el mantenimiento de un pH que permita el buen crecimiento de los microbios.

Las lagunas anaeróbicas no producen un afluente de alta calidad, pero pueden reducir la carga de la BOD en un 80 a 90%, con un mínimo de esfuerzo. Puesto que las lagunas anaeróbicas trabajan mejor con desperdicios orgánicos concentrados, su afluente debe tratarse mediante lagunas aireadas o facultativas. Las lagunas anaeróbicas constituyen la primera etapa para el tratamiento de aguas de desperdicio concentradas con compuestos orgánicos.

#### **IV.4.4 EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS**

El equipo ha ser usado en el tratamiento de las aguas aceitosas residuales puede ser dividido en 3 categorías.

Tratamientos primarios, los cuales requieren solamente un simple asentamiento para producir una separación limpia de aceite, agua y sólidos, sin tratamiento adicional al agua. Los tratamientos intermedios también llamados tratamientos secundarios, para problemas mas complejos, requieren una separación adicional de las emulsiones y un tratamiento del agua por reducción de BOD, etc. Los más avanzados tratamientos, referidos como terciarios o tratamientos de pulido, son usualmente empleados donde las afluentes son descargadas a una corriente de recepción la cual tiene criterios de requerimiento de alta calidad.

##### **TRATAMIENTO PRIMARIO**

##### **TRATAMIENTO INTERMEDIO**

##### **TRATAMIENTO POR BIOXIDACIÓN**

##### **TRATAMIENTO TERCIARIO O AVANZADO**

#### **IV.4.4.1 TRATAMIENTO PRIMARIO**

Si una emulsión no esta presente y una separación limpia de aceite y agua es indicada, un simple separador por gravedad puede ser suficiente para la clarificación del agua residual. Si el volumen de agua residual aceitosa es pequeño, un tanque de la capacidad requerida puede ser usado. Si el aceite involucrado es viscoso o su densidad relativa es cercana a la del agua, un calentamiento moderado del agua residual en el tanque puede ser empleado para facilitar el asentamiento, .

Sin embargo, se debe tener cuidado en mantener lo suficientemente baja la temperatura para minimizar las corrientes de convección y evitar que el agua hierva.

## a) Separadores por Gravedad API.

El diseño y tamaño del separador depende del carácter y cantidad de agua residual aceitosa a tratarse. Incluso una correcta construcción y operación del separador es limitada a la separación y a la retención de sólidos y a los líquidos inmiscibles, los cuales no son tratables por la separación por gravedad (FIG. IV.4).

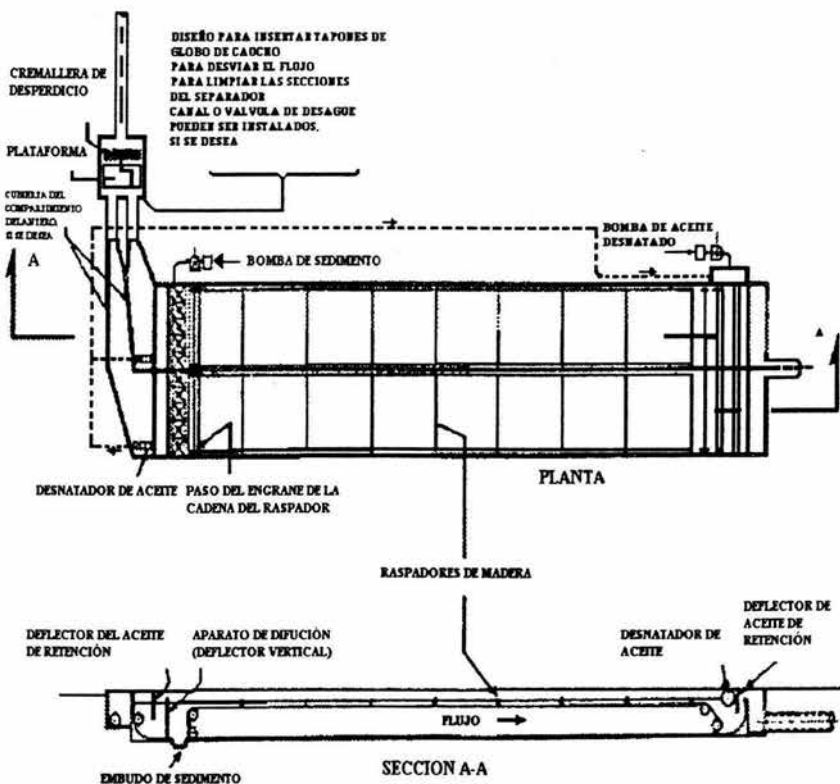


Fig IV.4 Separadores por gravedad API

Las pruebas de aplicación de separación son descritas en el método API 734-53, del Manual API sobre la disposición de residuos de refinación, Volumen IV, y en el "Muestreo y Análisis del Agua Residual" y puede ser usado como una guía para determinar si la afluente a el separador es factible a la separación por gravedad.

La efectividad de un separador operando a cierto gasto de flujo depende de la temperatura del agua, de la densidad y tamaño de los glóbulos de aceite y de la cantidad y características del material suspendido presente en el agua residual. Además la efectividad de separación y la retención depende de las correctas técnicas de operación.

Como resultado de estudios de investigación y de la experiencia obtenida de la operación de los separadores existentes, un procedimiento recomendado para el diseño de separadores de aceite y agua por gravedad es presentado en el Volumen I del Manual API sobre la disposición de residuos de la refinación. El separador descrito es una vasija rectangular conteniendo uno o mas compartimientos o "Bays", con desnatadores de aceite, raspadores y recolectores de aceite, etc.

#### b) Otros separadores por gravedad.

Estas recomendaciones no pretenden ser exclusivas de un buen funcionamiento para separadores de aguas residuales aceitosas, porque muchos separadores de otros diseños están funcionando efectivamente. Los separadores de diseño circular están siendo usados en un gran número de casos con resultados satisfactorios. Generalmente, estos diseños proporcionan una entrada del agua residual a través de un pozo central de tipo "stilling" y el agua separada esta debajo a una profundidad cerca de la periferia, de donde esta asciende por un cable periférico de sobre flujo. La entrada periférica y las paredes centrales de salida también han sido empleados.

El diseño circular usualmente incluye desnatadores de aceite y aparatos raspadores de sedimentos, los cuales están soportados alrededor de un poste o tubería central rotatoria.

Una marcada ventaja del separador rectangular gravitacional API es la flexibilidad de alargamiento por la adición de compartimientos o "bays" con la interrupción de las unidades existentes conforme a los requerimientos de crecimiento de la planta.

Las válvulas de entrada y salida de la afluyente e influente pueden ser instaladas en cada "bay" y de esta manera, cualquier compartimiento puede estar fuera de servicio para limpiarlo y repararlo cuando sea necesario.

Si la separación primaria no produce una afluyente clarificada o si la afluyente de agua contiene una excesiva cantidad de BOD, el tratamiento secundario puede llegar a ser necesario.

#### **IV.4.4.2 TRATAMIENTO INTERMEDIO**

El equipo para el tratamiento intermedio depende de la naturaleza de la afluyente primaria. Si la afluyente permanece turbida mas tratamiento es necesario para remover la materia suspendida la cual no fue eliminada en tratamiento primario. Este material se puede tratar de partículas finas de sólidos suspendidos, posiblemente mojadas de aceite, causando dificultad para asentarse en el fondo del filtro gravitacional o para romper la emulsión, la cual no flotará o no se asentara. A continuación tales emulsiones entramparan partículas sólidas haciendo esto incluso mas difícil de separar los sólidos o aceite en un separador gravitacional. Si las emulsiones no están presentes y por lo tanto no existe turbidez, un simple filtro puede ser necesario para clarificar el agua. Pero si los sólidos suspendidos, los cuales producen turbidez son coloidales o se acercan a estos, la coagulación y floculación pueden ser necesarias para una completa clarificación.

##### **a) Equipo de Filtración**

###### **1) Filtros de Arena.**

Los filtros de arena dependen de la adherencia de las partículas sólidas a los granos de arena para la eliminación de sólidos. Filtros de arena rápidos son generalmente recomendados. Para el retrolavado del filtro común de arena se requiere que este fuera de servicio.



Sin embargo, el retrolavado del filtro evita este tiempo por permitir que una porción de la cama de la arena sea limpiada mientras que el resto de la cama o plancha esta en servicio. Este consiste de un compartimiento con una plancha o cama de arena con drenajes junto con un retrolavador viajero y un mecanismo de lavado. El mecanismo mueve unas vías localizadas en las paredes del tanque del filtro y automáticamente pone en operación a una predeterminada porción del filtro.

El carro de limpiado esta equipado con 2 bombas y una cabeza limpiadora; con un filtro típico de arena con un retrolavado automático. Debido a que el carro se mueve lentamente durante el retrolavado, el filtrado de la descarga es bombeado dentro de los compartimientos respectivos de la afluente en su parte superior, a través de la cama o plancha del filtro dentro del limpiador cubierto con la bomba de lavado.

El agua sucia es entonces transferida del limpiador cubierto a un lavador de agua por una segunda bomba. La extensión transversal del limpiador cubierto es del ancho del filtro, pero es de menos de 2 pies de ancho. Por lo tanto, solamente una fracción del filtro esta fuera de servicio a cualquier tiempo. El agua del lavador es regresada a la influente para facilitar el tratamiento precedente al filtrado.

La profundidad de la cama del filtro varía de 8 a 12 pg. Usualmente el filtro es de arena pero antracita graduada puede ser usada.

#### b) Filtros de componentes mezclados.

La experiencia de usar un filtro burdo adelante de un filtro convencional ha producido largos ciclos operando a altos ritmos. Como resultado de esta experiencia un fabricante ha desarrollado un filtro con 2 etapas (ver fig IV.5), con un material áspero seguido de material pulido y fino. Esto es llevado a cabo por el uso de una plancha o cama de un filtro con componentes mezclados. Una capa relativamente burda, material de baja densidad sobre una capa de partículas finas pulidas de material de alta densidad en el fondo de la cama del filtro. La profundidad de filtración obtenida con componentes mezclados permite una gran acumulación de sólidos dentro de la profundidad de la cama del filtro hasta un punto final denominado "head loss".

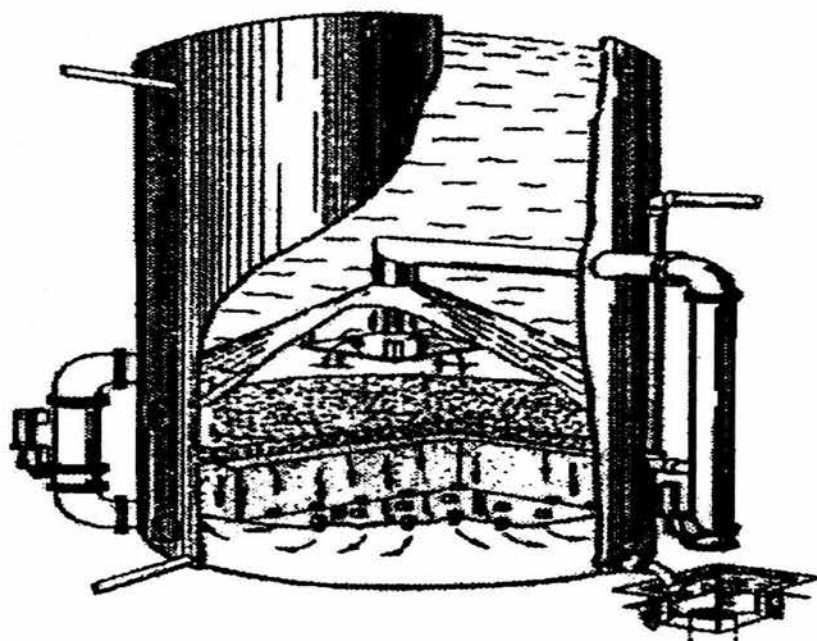


Fig IV.5 Filtros con medios mezclados

- Combinación de componentes para la filtración profunda,
- la combinación de filtros rugosos y pulidos,
- máxima eliminación de sólidos con un mínimo de pérdida de agua de lavado.

La floculación y coagulación, especialmente con polielectrólitos, es también aplicable para este sistema cuando algo de turbidez de la influente no es filtrable.

#### c) Filtros de presión prervestidos.

La filtración por filtros prervestidos es en 2 etapas de operación. Una delgada capa tal como harina fósil es primero construida sobre la superficie del filtro o septa para circular una mezcla de componentes a través del filtro.

El filtro esta entonces listo para recibir el fluido a ser filtrado. Una pequeña cantidad de los componentes del filtro es adherida a la influente de carga y por supuesto es depositada a lo largo con materia suspendida en la carga sobre la superficie del prevestido. De esta manera, una nueva superficie es continuamente formada. cuando la presión diferencial a través del filtro se alcanza un predeterminado nivel, el ciclo del filtro ha sido completado, la influente cargada es suspendida y es retrolavada o limpiada por un spray eliminando la capa de la septa del filtro. Esta capa contiene materia suspendida filtrada que llega a ser un problema de disposición y debe ser tratada como un sedimento en el fondo del separador. Una vez que la limpieza es concluida, el proceso de precubrimiento es reiniciado y se repite el ciclo de filtración. Este tipo de filtro usualmente eliminaría sólidos muy finos suspendidos incluyendo coloides, pero no eliminaría líquidos suspendidos inmiscibles tal como el aceite, si se presenta en cualquier cantidad. Estos líquidos pasaran a través del material, o tapan el filtro, por lo que se requerirá un excesivo retrolavado y limpiado.

Debe tenerse mucho cuidado en la protección de la septa del filtro de cualquier perforación la cual permitirá el paso de material y agua no filtrada. También debe tenerse cuidado para asegurar una completa protección de la septa por el material del filtro en el paso del precubrimiento. Este es debido a la recirculación de la afluente del filtro hasta que es completamente limpiada durante el proceso de precubrimiento. También es necesario que todo el aire sea expulsado del filtro antes que se inicie la filtración.

Las partes esenciales del sistema de filtrado a presión son el tanque del filtro, membrana del filtro o septa y sus apoyos, las bombas de alimentación del filtro, las bombas de reciclado, los tanques de filtrado medio del enjarre y bombas para el precubrimiento y la continua adición del enjarre a la influente de la carga. Los fabricantes pueden usualmente proporcionar equipo de automatización.

Existen muchos diseños para el filtro a presión. el plato y armazón del filtro tienen la ventaja de bajo costo, facilidad de inspección y un bajo volumen de líquido para la relación de área. Estos filtros están disponibles con superficies empaquetadas y aparatos con movimiento mecánico de hojas o láminas.

Los elementos cilíndricos del filtro son relativamente bajos en costos de construcción y tienen la ventaja de reemplazarlos cilindros dañados o tubos a un bajo costo que reemplazar las láminas del filtro.

El tanque vertical, con filtros de laminas verticales son probablemente los mas costosos y tienen el mas bajo volumen para la relación de área de todas las láminas del filtro. La descarga húmeda del enjarre puede ser llevada a cabo por medio de un canal en la parte superior de las hojas, o el enjarre puede ser secado, de las hojas será eliminado mediante un golpeo suave con un mazo de goma o vibrador hasta que el enjarre se desprenda.

El tanque horizontal, con filtros de laminas verticales tiene la ventaja de eliminar las capas fácil y rápidamente del tanque, para el lavado e inspección por el rascamiento de la septa y de fugas a su alrededor. Las hojas pueden ser limpiadas cuando están en servicio mediante sprays instalados en la porción superior del tanque, pueden ser secadas, pueden ser removidas y golpeadas manualmente o por un vibrador para eliminar el enjarre seco.

Los filtros con láminas horizontales son ventajosos donde la operación es intermitente. Los elementos verticales del filtro dependen de la presión diferencial a través del elemento o lámina para mantener el enjarre en el lugar y de esta manera un presión continua de flujo es necesario mientras que en las láminas verticales, el enjarre es mantenido por gravedad.

#### d) Filtros de vacío.

Los filtros de vacío tienen la ventaja de ser los de mas bajo costo, debido a que no se requieren recipientes a presión. Estos filtros son diseñados con tubos verticales u hojas fijadas en el tanque abierto y conectados a un tubo múltiple de descarga. El fluido es retirado a través de elementos por medio de vacío (fig.IV.6).

El filtro de vacío rotatorio esta diseñado para filtrar líquidos conteniendo un alto porcentaje de sólidos que sería impráctico filtrar en láminas de filtro a presión o vacío.

Este consiste de un tambor horizontal cubierto con una membrana que es capaz de retener un filtro medio. El tambor esta contenido en un tanque y esta diseñado para estar parcialmente sumergido en el líquido a ser filtrado. Entonces el vacío es aplicado a la superficie interna de la membrana del tambor a través del tambor y de la válvula al final del filtro. El líquido filtrado fluye a un receptor donde el aire y otro gas son separados del líquido.

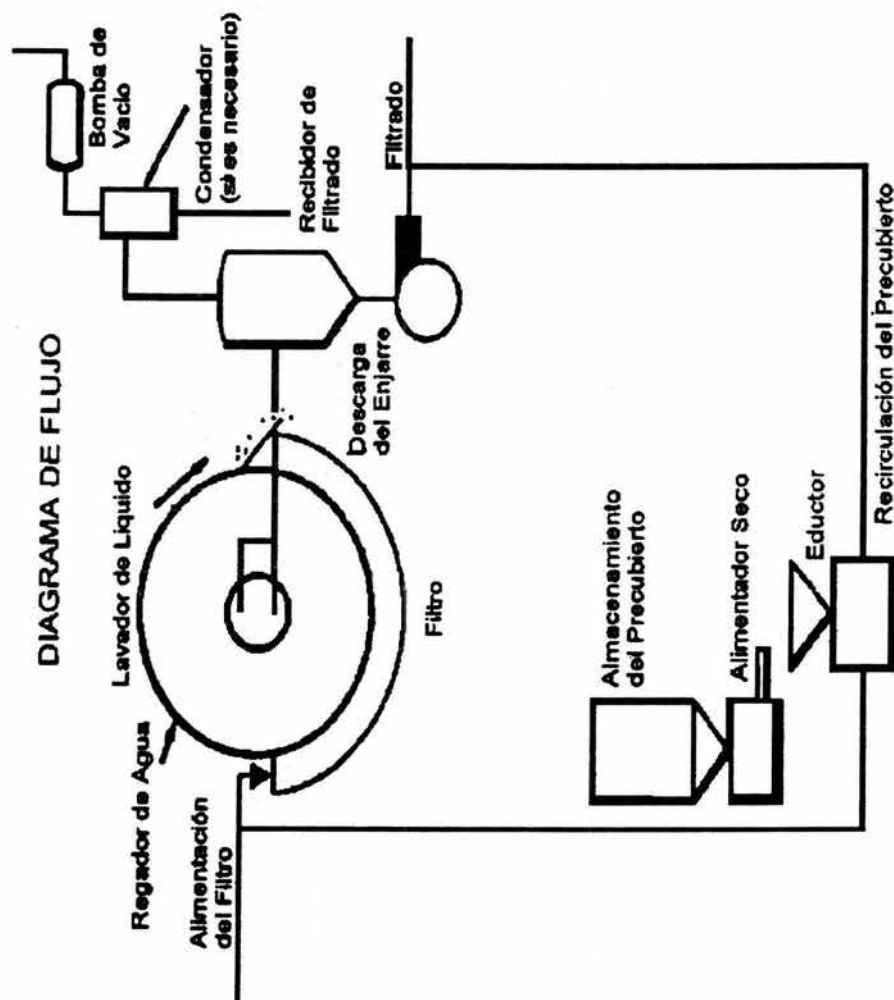


Fig IV.6 Filtro recubierto de vacío rotatorio

Este filtro es el único en que el paso de la capa precubierta es continuo hasta cubrir de 2 a 4  $\mu\text{g}$  el espesor que es construido sobre la superficie del tambor, en lugar de la capa delgada usada en filtros a presión.

Durante el ciclo de filtrado, la porción precubierta es gradualmente reducida. Como el tambor rota a través del líquido a ser filtrado, una hoja corre a través de la cara del tambor y el nivel del líquido continuamente avanza hacia el tambor, desprendiéndose los sólidos parcialmente colectados, mas una pequeña porción del precubierto original, de esta manera se presentará un nuevo filtrado superficial para el líquido en cada revolución. Esto continua hasta que el filo de la hoja este dentro de 1/4 a 1/8  $\mu\text{g}$  de la membrana, en el tiempo en el cual el ciclo del filtro se termine, la superficie limpia del tambor y el precubierto estarán listos para seguir con el ciclo del filtro. La continua aplicación de la carga del filtro a través del tanque y el continuo bombeo del filtrado del receptor que se encuentra bajo vacío y que son una parte de los accesorios del filtro. Los sólidos y el material precubierto son soltados dentro de un recibidor para estar dispuestos fácilmente.

#### e) Clarificadores.

Si solamente son escasas las cantidades de emulsión existentes en la afluyente primaria, y el agua es turbia debido a que pequeñas partículas de sólidos o coloides, la clarificación por coagulación y floculación es posible. Pruebas de choque, como las mencionadas anteriormente, puede ser un indicativo de la factibilidad de su clarificación.

El equipo para este tipo de tratamiento acompaña a varios diseños, pero no todos son operados bajo el mismo principio (fig IV.7). Esto es, la formación de un floculo, el cual entrapa materia suspendida y la precipita a el fondo del tanque donde puede ser recolectado como sedimento.

Este proceso, cuando es usado como tratamiento intermedio, es usualmente continuo y se aplica a grandes volúmenes de las afluentes del agua residual de los separadores de residuos aceitosos.

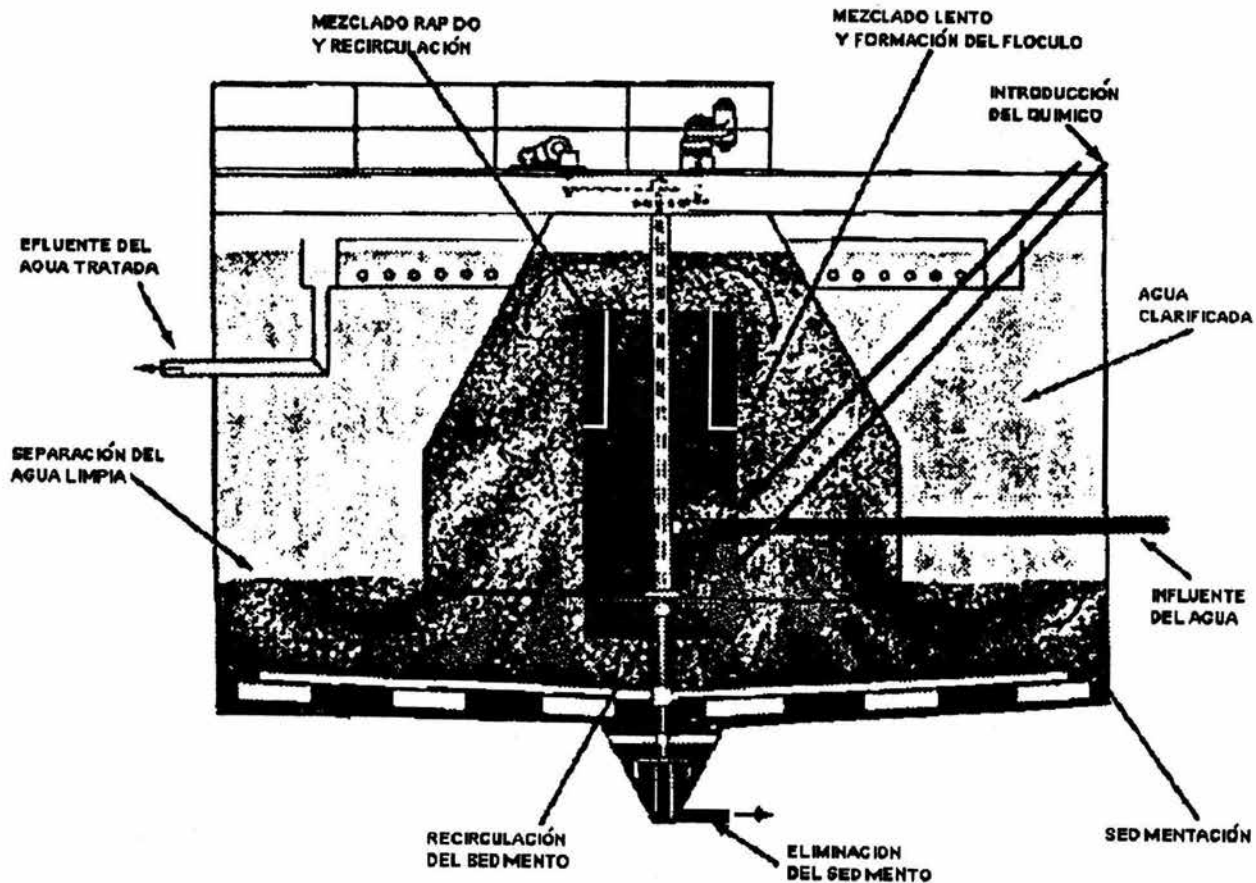


Fig. IV.7 Clarificador de aguas de desecho

La figura anterior muestra un típico clarificado. El agua afluyente del separador entra a un sistema (influyente de agua cruda) en el centro de un compartimiento donde los químicos coagulantes y la influente son rápidamente mezclados. La recirculación de sedimentos y el mezclado con paletas fuerzan el flujo hacia arriba sobre el borde del compartimiento a un compartimiento de mayor tamaño donde la velocidad del agua disminuye, proporcionando una zona semi-estacionaria para un mezclado lento y para la formación del floculante. El flujo de agua en este compartimiento es hacia abajo y el floculante formado atrapa la materia suspendida para suspenderla en el fondo del compartimiento. El agua que está siendo clarificada por este proceso fluye por abajo de un borde inferior de este compartimiento dentro de un tercer y gran compartimiento de este recipiente, y sube a la superficie dejando atrás el sedimento de mayor peso.

Parte de este sedimento es recirculado a través de una cámara central para actuar como semilla para la formación del nuevo floculante. El sedimento de mayor peso se precipita en un colector donde este puede ser determinado para su disposición final y el balance del sedimento a lo largo del fondo se incrementa en el recipiente para conformarse como una capa de sedimento, lo que atrapa el último vestigio de turbidez y al floculante ligero. La separación del agua limpia se lleva a cabo en la superficie de la capa del sedimento.

El recipiente o vasija está equipada con un limpiador cerca de la parte superior, a través de la cual se tiene un clarificador de agua.

Un raspador de baja velocidad, en el fondo, empuja al sedimento hacia el colector para eliminarlo. El raspador y las palas de mezclado son accionadas por motores montados sobre un brazo a través del recipiente.

La velocidad de las palas de mezclado puede variar según las necesidades. Si existe demasiado aceite o emulsión en la influente del equipo, puede ser difícil mantener la capa del sedimento cerca del fondo y algo de sedimento puede subir para contaminar la afluyente tratada de agua. Algunos operadores prefieren adicionar limo y cenizas en el centro del compartimiento para suministrar carbonato de calcio y aumentar el peso del floculante para mantenerlo cerca del fondo del recipiente.



Se debe tener cuidado para evitar la sobre dosis con quimicos coagulantes. Tal sobre dosis puede causar la formación de un "floculante después de" en el agua clarificada. El control estricto de la dosis química es pertinente para una buena operación. Demasiada rapidez inicial en el mezclado y en la recirculación del sedimento, pueden también causar problemas. Un lento mezclado, a su vez, puede causar floculación pesada en la zona de mezclado y un precipitado prematuro.

#### f) Disolución por Aereación.

Quando las afluentes del separador primario de agua-aceite son turbias y contienen cantidades de emulsión, la disolución por aereación es generalmente aplicable. Pruebas de banco de escalas proporciona un indicativo del éxito de este tipo de tratamiento.

El equipo de la disolución por aereación cae en dos clases generales, según la dirección del flujo: horizontal y vertical. En cualquier caso, una porción de la carga o una porción reciclada de la afluente del agua clarificada es presurizada con aire y es mezclada con una carga de agua conforme esta entra al equipo. El proceso puede requerir agentes coagulantes para incrementar la eficiencia. El equipo de aereación esta disponible por un gran número de fabricantes. Unidades empaquetadas pueden ser adquiridas con un rango de capacidades arriba de los 1000 gal/min. Para unidades grandes se requiere la construcción de estas en el campo. La cámara de flotación puede ser construida en un grado superior o inferior y puede ser de acero o concreto reforzado.

Para un equipo horizontal la materia suspendida esta flotando en la superficie del agua como si esta fluyera horizontalmente a través de un recipiente rectangular. La espuma es desnatada del agua para su disposición y el agua saldrá a un vertedero, el cual controla el nivel del agua en el tanque. Para un equipo vertical el agua entra al recipiente de flotación a través de una tubería central y fluye hacia arriba a la superficie del líquido del recipiente de flotación.

La espuma remanente sobre la superficie es desnatada por un equipo desnatador rotatorio, mientras que el agua cae para fluir debajo a una profundidad y regresa a la superficie cerca de la periferia del recipiente, donde esta fluye a un vertedero en un lavador, el cual existe como un tanque de colección.

En los dos sistemas de flujo vertical y horizontal, la carga del agua es presurizada con aire a través de un válvula de presión colocada justamente antes de la entrada del fluido a la cámara de flotación, o una porción de la afluyente clarificada es presurizada con aire y es reciclada y mezclada con una carga antes de entrar en el recipiente o vasija de flotación. La presión sobre el agua reciclada es realizada justo antes de mezclarla con la carga de agua.

Es importante que el agua que se esta presurizando se agite constantemente para asegurar que el aire se disuelva en el agua. Bombas centrifugas usadas para bombear la carga o el reciclado del agua pueden también ser usadas para la introducción y mezclado del aire utilizando unas tuberías reducidas (venturi) en la línea de reciclado desde la bomba de descarga hasta la bomba de succión. Esto elimina los compresores de aire en el sistema. Sin embargo, se debe tener cuidado que la bomba opere en succión con alguna presión para algún inundamiento. De otra manera la cavitación en los propulsores de la bomba puede causar altos costos de reparación.

Después de la inyección de aire y la presurización, el agua debería fluir a un tanque de donde el exceso de aire no disuelto puede ser expulsado antes de continuar a través de la válvula de alivio en la vasija de flotación. Algunos recolectores de sedimentos deberían ser instalados en el fondo de la vasija de flotación para recolectar cualquier material pesado que pudiera haber caído. Esto ocurre algunas veces cuando las emulsiones son rotas en el proceso, en donde ciertas partículas pesadas son susceptibles de depositarse por gravedad.

Los tratamientos intermedios descritos tienen solamente el propósito de clarificar el agua y generalmente no tienen efecto sobre el BOD y COD, excepto aquéllos que son debidos a materia suspendida. La demanda de oxígeno para disolver sustancias no se reducirá excepto en el proceso de disolución por aereación, donde alguna reducción puede tomar lugar ("WILL AIR FLOTATION REMOVE THE CHEMICAL OXYGEN DEMAND OF REFINERY WASTE WATER?" 48). Si la reducción de la demanda del oxígeno y de los materiales disueltos tóxicos en las afluentes de estos tratamientos es necesaria, entonces los sistemas de oxidación biológica son necesarios.

#### IV.4.4.3 TRATAMIENTO POR BIOXIDACIÓN

##### a) Filtros de goteo.

Los problemas del equipo con filtros de goteo radican en el distribuidor rotatorio y en el medio filtrante (fig.IV.8). Cualquier distribuidor rotatorio trabajara satisfactoriamente proporcionando una distribución uniforme. Los distribuidores normalmente operan mediante un impulsor, así es que la descarga del agua residual sobre el filtro suministran la energía por rotación.

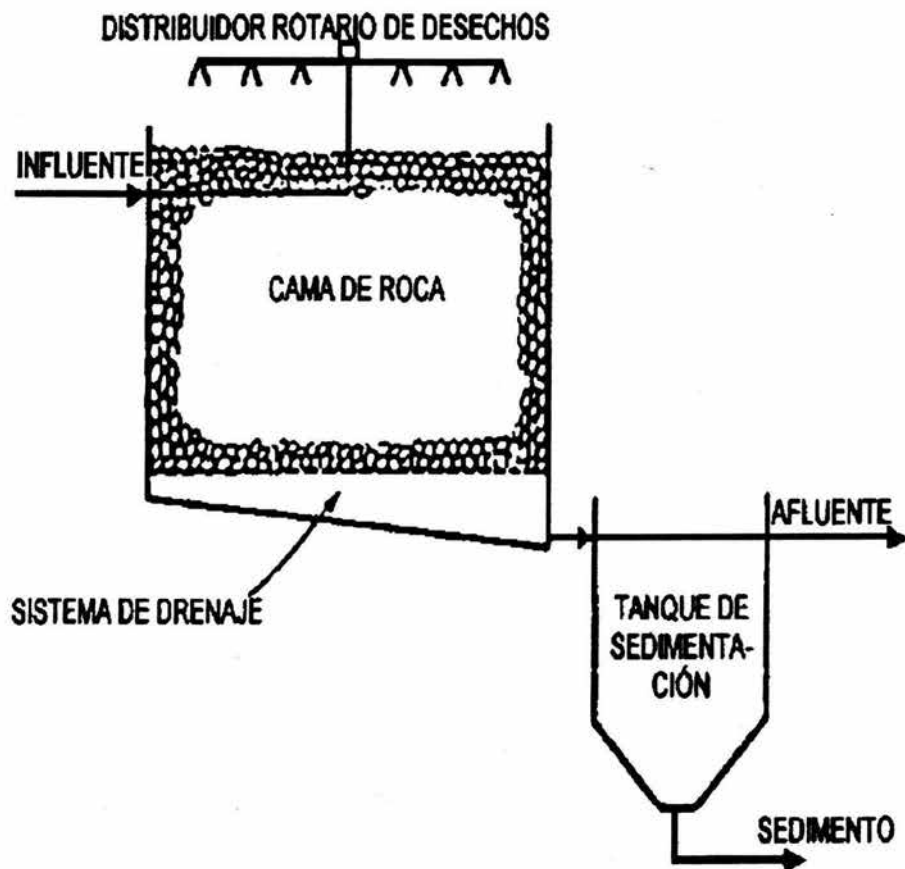


Fig. IV.8 Filtros de goteo

El medio filtrante de plástico ha sido introducido en años recientes para reemplazar el medio filtrante de roca. Esto es posible, al considerar al medio filtrante de plástico como un material estructural y para construir el filtro verticalmente en lugar de hacerlo horizontalmente como se realiza con el material de roca; de esta manera se empleara menos área.

#### **IV.4.4.3.1 SEDIMENTO ACTIVADO**

La mayoría de los componentes del equipo del proceso de sedimento activado son conectados con un aparato que transfiere oxígeno. El equipo que transfiere oxígeno puede ser dividido dentro de dos secciones. el compresor de aire y el difusor de aire.

La turbina del compresor de aire permite el uso de una válvula de agitación en la descarga de la línea para el control de la descarga del aire. La válvula de agitación permite un control completo de las cantidades de aire, desde cero hasta la máxima capacidad del compresor.

En pequeñas instalaciones, la conveniencia de la flexibilidad de la turbina del compresor de aire influye mas que su costo adicional. El compresor de aire rotario es una desventaja por no tener esta flexibilidad. En grandes sistemas, muchos compresores son usados, así es que diferentes volúmenes de aire pueden ser obtenidos. En sistemas pequeños es necesario cambiar el tamaño de la polea para obtener la flexibilidad mencionada.

Hay una controversia considerable en cuanto al mejor tipo de difusor de aire. El equipo de difusión de aire nunca ha sido operado sobre una prueba de campo actual, porque no ha sido posible evaluar completamente todos los factores de demanda de oxígeno. La mayoría de los fabricantes operan su equipo de difusión en agua pura con cero oxígeno disuelto. De esta manera es posible obtener los máximos ritmos de oxígeno transferido.

Uno de los problemas encontrados con los difusores es la tendencia a la obstrucción con el crecimiento microbiano. Normalmente, la obstrucción esta relacionada con el ritmo de oxígeno transferido. Con una alta demanda de oxígeno, los microbios tienden a obstruir los difusores, los cuales tienen bajas velocidades del aire y pequeñas aberturas.

Los paquetes del sistema de tratamiento biológico de aguas residuales son ofrecidos por muchos fabricantes.

Generalmente se fabrican de acero con un tanque combinado de aereación-sedimentación en una sola unidad, utilizando una turbina de mezclado. En primera instancia la carga es introducida en un compartimiento central donde la aereación es llevada a cabo. Una turbina mezcla la carga y el sedimento completamente. El agua sobre fluye a este compartimiento y posteriormente a un compartimiento afuera donde fluye de manera semi-estacionaria y donde ocurre la sedimentación. El afluente del agua es dirigido a un limpiador en la periferia del recipiente.

El sedimento es recirculado y precipitado al fondo del recipiente. En un segundo caso, el flujo entra cerca del fondo del recipiente, es aereado completamente y mezclado con el sedimento por una turbina en el compartimiento exterior, y fluye a el centro del cono para la sedimentación y clarificación. La afluente se descarga de un limpiador interno en la superficie del compartimiento central.

#### b) Estanques de Oxidación.

Los estanques de tierra son construidos fácilmente y no requieren equipo especial a menos que la aereación del agua sea deseable. Muchos fabricantes han ofrecido aparatos de aereación, la mayoría de los cuales dependen de la agitación rápida de la superficie en los estanques por una turbina que emula el movimiento en forma de remos (fig.IV.).

Estos aereadores no solamente producen oxígeno adicional en el agua, si no que además establecen una circulación en el estanque, lo cual resulta benéfico.

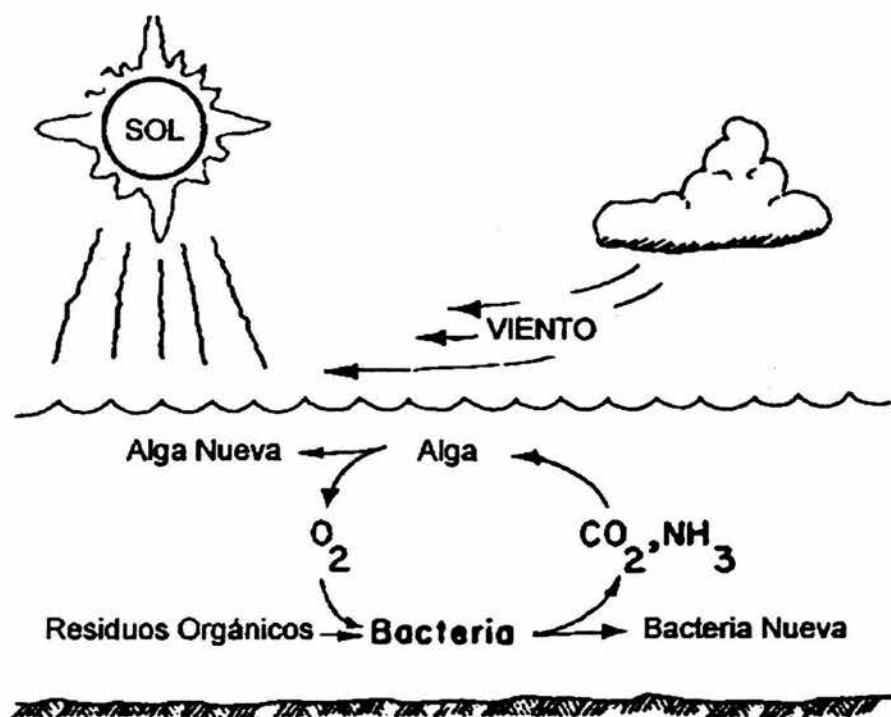


Fig.IV.9 Estanques de oxidación

#### IV.4.4.4 TRATAMIENTO TERCIARIO O AVANZADO

El tratamiento terciario es indicado cuando la afluyente del agua residual del tratamiento intermedio no puede ser reusada en la planta y debe dársele un tratamiento adicional para conocer los requerimiento de la corriente de recibo. Generalmente, el tratamiento intermedio es suficiente para disponer del agua a tratar. Sin embargo, en algunos casos si la corriente de recepción esta cercana a la vecindad del suministro de agua potable, la afluyente del agua residual requerirá estar libre de toda toxicidad, con un BOD no mayor que la corriente de agua de recepción, conteniendo un mínimo de oxígeno disuelto y estar libre de olor y sabor.

Si la afluyente del agua residual tiene un valor BOD razonablemente bajo, un alto nivel de oxígeno disuelto será requerido para la descarga y probablemente la circulación a través de una torre de aereación puede ser todo lo necesario. Cualquier torre de enfriamiento ofrecerá una buena pieza de equipo para este servicio. Algunas veces el reciclado del agua sobre la torre produce buenos resultados. Tales torres tienen la ventaja de deshacerse de algunos gases y además reoxigenan y enfrían el agua.

Cuando el BOD y/o COD han sido eliminados por bioxidación, y aún persisten niveles arriba de lo requerido para la descarga, el tratamiento químico con cloro, ozono o permanganato puede producir los resultados deseados. El equipo de clorificación es ofrecido por un gran número de fabricantes. El ozono debe elaborarse en el tratamiento y el equipo puede ser comprado en el mercado. Los tratamientos por otros químicos (óxidos) deben de hacerse con sumo cuidado, estando seguros de que los resultados no sean contraproducentes.

Los componentes tóxicos de la afluyente a ser descargada, generalmente pueden ser eliminados por tratamiento químico dependiendo de los compuestos tóxicos presentes. Tales condiciones deben ser estudiadas para cada tipo de agua. Si existen detergentes, que deban ser eliminados, un sistema de espuma para el agua, y la eliminación de dicha espuma reducirá el contenido de estos contaminantes.

La eliminación de olor y sabor puede ser llevado a cabo con tratamientos de filtración de carbón activado.

El equipo para este sistema consta de 4 o 5 series de contactores. El agua fluye a través de cada uno de estos, desde la serie uno hasta la 5. Cuando la afluyente de la serie No. 1 no es aceptable, el contactor sale fuera de servicio, el carbón es regenerado y la siguiente serie trabaja de igual manera hasta la serie No. 5, de tal manera que todas las series de contactores hayan sido requeridas y el ciclo se repite nuevamente. Por lo que el carbón fresco regenerado esta siempre al final de las series.

El carbón activado es capaz de eliminar orgánicos que provocan sabor y olor, y de esta forma el BOD baja. Aunque este es un proceso costoso, a veces será necesario si el agua residual no puede ser reusada y es prohibido descargarla a una corriente relativamente limpia. El carbón activado en polvo es algunas veces usado como un chorro mezclado en el agua durante la floculación y la eliminación de filtros. Los materiales manejados en la mezcla de carbón deben ser resistentes a la corrosión pues el carbón activado en el agua genera la corrosión galvánica.

Algunos químicos inorgánicos pueden ser precipitados, como la precipitación de fosfato por limo, o por precipitación de cromo por el hidróxido. Otros pueden ser eliminados por intercambio de iones, por lo que cada caso debe ser manejado individualmente.



## **IV.5 EMISIONES ATMOSFÉRICAS.**

### **Contaminación del aire por emisiones de gas natural y vapores de combustión en los quemadores.**

Uno de los problemas que tendrá que enfrentar la industria petrolera será la determinación de la cantidad de emisiones de gases y vapores a la atmósfera que se produce en las baterías de separación, para lo cual se requerirá de una auditoría en cada una de las baterías con la finalidad de cuantificar los gases enviados a la atmósfera por no contar con una suficiente capacidad de compresión para el manejo de gas producido, así mismo por las emisiones de vapores en la combustión del gas natural en los quemadores. Una de las alternativas para solucionar este problema es la comercialización de este gas, si se aumentara la capacidad de compresión en las baterías de separación, sin embargo puede no ser económico por lo cual una segunda alternativa sería la creación de un almacenamiento subterráneo de gas en el cual serían almacenados los excedentes para su posterior recuperación, evitando con esto el tener la necesidad de quemarlo.

Una tercera alternativa en el caso de que ninguna de las anteriores resultara viable sería la utilización de quemadores con una mayor eficiencia, capacidad de quemado y que cumplan con las regulaciones de la Agencia de Protección Ambiental (EPA).

A continuación se describen las bases principales para el diseño de quemadores:

#### **IV.5.1 Formación de emisiones.**

Existen 3 mecanismos básicos en la producción de emisiones de óxidos de nitrógeno en los quemadores de combustibles fósiles.

##### **a) Mecanismo termal de producción de óxidos de nitrógeno.**

Esto resulta de la oxidación del nitrógeno atmosférico como el que pasa a través de la zona de la flama. Esto requiere una alta activación de energía y esta adversamente influenciado por la temperatura del pico de la flama, la concentración y el tiempo de residencia a la temperatura del pico de la flama.

#### b) Mecanismo puntual de producción de óxidos de nitrógeno.

Este también resulta del nitrógeno atmosférico pero es producido a través de una reacción con combustible de hidrocarburos en la zona de reacción de flama alta. Esto no está influenciado por la temperatura de la flama pero depende del tiempo de residencia en la zona más rica de mezcla de combustible.

#### c) Mecanismo combustible de producción de óxidos de nitrógeno.

Esto resulta de las sustancias químicas inherentes al nitrógeno en los combustibles líquidos. No es particularmente dependiente de la temperatura de la flama, pero adversamente está influenciada por el contenido de combustible nitrogenado y la disponibilidad de oxígeno en mezclas de combustible débiles.

Los óxidos de nitrógeno puntuales representan un porcentaje muy pequeño del total de emisiones de óxido de nitrógeno. Consecuentemente los mecanismos para la reducción de óxidos de nitrógeno están basados en los mecanismos térmicos y combustible e incluyen la reducción de la temperatura en los picos de la flama, por etapas de combustible, aire y recirculación de flujo de gas.

Además, otras sustancias podrán generarse, como se describe a continuación:

#### d) Mecanismo de producción de óxidos de azufre.

Los óxidos de azufre se producen cuando la presencia de azufre en el combustible, se combina con el oxígeno durante el proceso para producir los óxidos de azufre.

#### e) Mecanismo de producción de partículas materiales.

Las partículas materiales son producidas por combinación de las cenizas presentes en el combustible y las partículas de carbón sin quemar en el proceso de combustión. La ceniza presente en el combustible no puede ser reducida y pasará a través del horno y será conducida arriba de la chimenea con el cañón de gases.

En la práctica una proporción de las cenizas se dejarán en el horno y serán removidas durante la limpieza del calentador. De cualquier manera para predecir esto, se supone que todas las cenizas pasan a través del calentador. El carbón sin quemar es el resultado de una combustión incompleta. La cantidad producida dependerá de algunos factores como lo son: el diseño del quemador, el tamaño del horno y el análisis del combustible.

#### **IV.5.2 Control de las emisiones.**

El control efectivo de las emisiones dependerá de 4 factores principales:

- 1) Diseño de quemadores.
- 2) Condiciones de operación.
- 3) Diseño del horno.
- 4) Propiedades del combustible.

La opinión general ha sido que el diseño de los quemadores deberán sustentar la capacidad de manejar todas la otras causas que contribuyen a las emisiones. La fabricación de quemadores abre el camino a la mayoría de los representantes de diseño para enfocarse hacia la reducción de óxidos de nitrógeno y la emisión de partículas. Por otro lado un aspecto a considerar son las dimensiones del horno para incrementar el tiempo de residencia, número y localización de quemadores para dar espacio a un cañón interno de recirculación de gas.

Los residuos pesados de los combustibles de aceite resultado de las técnicas modernas de refinación, son una limitante para incrementar la eficiencia a la salida del quemador. Como consecuencia estos combustibles requieren calidad y alta turbulencia aerodinámica de patrones de mezclado para producir una alta temperatura de flama, necesaria para completar la combustión.

Es difícil que se reduzcan los óxidos de nitrógeno debido a que las técnicas agravan el problema de quemado de algunos de estos residuos de combustibles. Las emisiones de óxidos de nitrógeno varían inversamente al nivel del combustible no quemado.

**a) Influencia de las entradas al quemador en el comportamiento de combustión.**

Para superar los requerimientos de este conflicto se necesita optimizar la emisión de óxido de nitrógeno y la emisión de partículas, para realizar esto es necesario incorporar etapas de combustión en combinación con un cañón interno o externo de recirculación de gas, además de agregar la atomización para mejorar los combustibles líquidos.

**b) Influencia del calor en el ritmo de descarga en el carbón no quemado.**

Los operadores de las plantas que suministran el combustible deben considerar los combustibles apropiados para los límites correctos de emisiones a un costo justo reduciendo la contaminación.

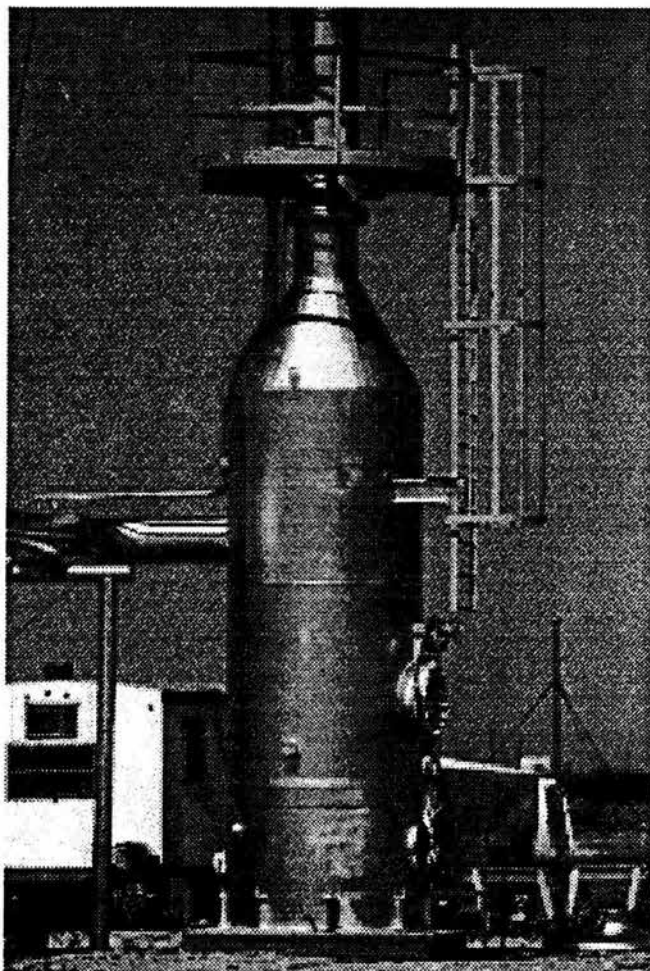
**c) Diseño de quemadores.**

Las compañías que están a la vanguardia en el diseño de quemadores reconocen además que estos equipos son capaces de una elevada eficiencia de combustión. Los quemadores que se encuentran actualmente en el mercado cumplen con los límites más estrictos, que se tienen para la emisión de partículas en las operaciones con entrega externa de aire, para lograr una máxima eficiencia y el control de la corrosión por ácidos. Con bolsas de aire se tiene una gran combustión y se facilitan las pruebas para desarrollar los programas.

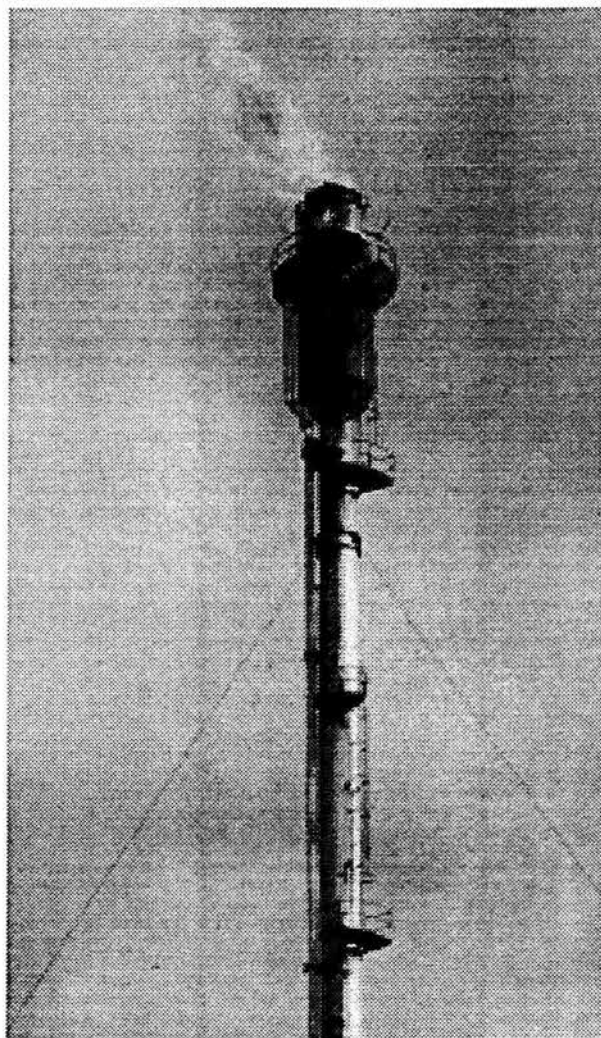
La medición de óxidos de nitrógeno, oxígeno, partículas y monóxido de carbono representa una de las investigaciones más importantes.

Las demandas más recientes para reducir la emisión de óxidos de nitrógeno, sin incrementar la emisión de partículas o los compromisos de eficiencia están ampliamente desarrolladas.

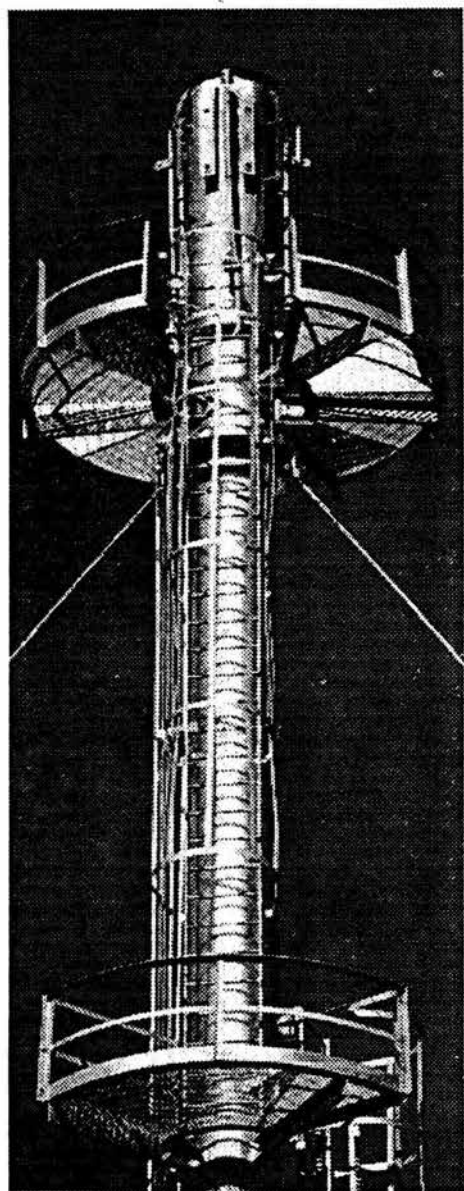
Las modificaciones que se han realizado a los quemadores incluyen características tales como las etapas de combustión a través del diseño de un registro único de aire, un cañón de gas de recirculación, que se encuentran en los quemadores de tierra (ver Fig. IV.10), en los quemadores elevados (ver Fig. IV.11) y en los quemadores para gas natural (ver Fig. IV.12).



**Fig.IV.10 Quemador de tierra**



**Fig.IV.11 Quemador elevado**



**Fig.IV.12 quemador en una planta de gas natural**

La baja emisión de vapor atomizado de los quemadores instalado en lugares como Singapur, ha llegado a producir niveles de óxidos de nitrógeno de  $275 \text{ mg/Nm}^3$  con altos contenidos de Nitrógeno en el aceite combustible al 0.67% en peso y una combustión de aire precalentada.

#### IV.5.3 Quemadores de baja emisión .

Este tipo de quemadores están especialmente diseñados para reducir los efectos dañinos por las emisiones en la combustión de combustibles fósiles, normalmente se instalan en calentadores industriales distribuidos en todo el mundo (fig.IV.13).

Los límites de emisión de partículas en los calentadores de fuego que utilizan combustibles líquidos, varían mucho de país a país. En la mayoría de los países las legislaciones tiene todo preparado para introducir los límites de las emisiones de óxidos de nitrógeno, azufre, y partículas materiales emitidas por los calentadores de fuego y otros procesos en la industria.

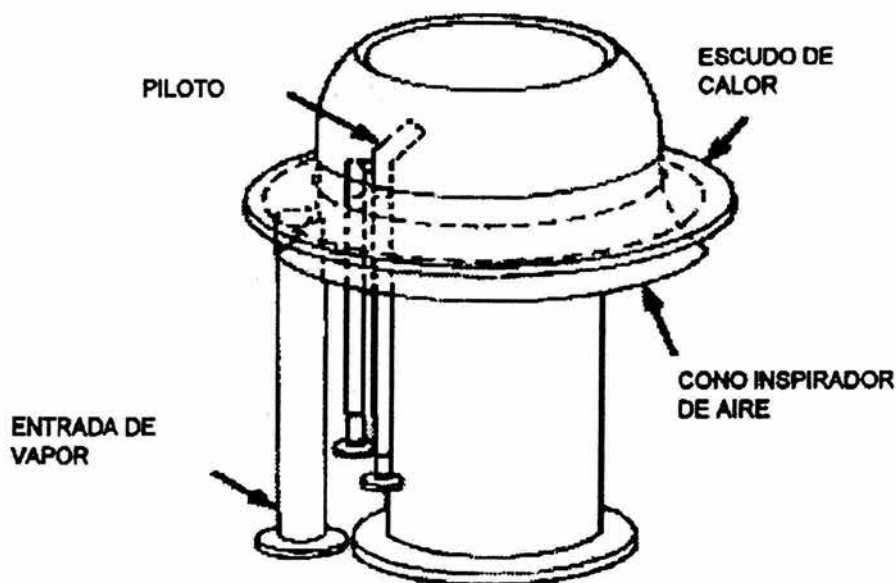


Fig.IV.13 Quemador de baja emisión de contaminantes





## **REGLAMENTOS Y NORMATIVIDAD DE PROTECCIÓN AMBIENTAL**

El problema de la protección al medio ambiente no es, como se ha demostrado un problema que sólo concierne a nuestra generación. El desarrollo industrial y tecnológico han acelerado este proceso de depredación, por lo que es urgente tomar las medidas pertinentes.

La regulación ecológica y ambiental en esta materia ha tenido dos tendencias a nivel internacional. Por un lado, el hecho de que sea la misma industria la que se autorregule, en virtud de que es ella la que cuenta con los elementos técnicos y de desarrollo científico para conocer la clase y forma de sus efectos y autolimitarse en algunas acciones. Por el otro, el hecho de que en cumplimiento de mecanismos de control y regulación externa sea el sector público el que genere este tipo de normatividad y evaluación.

Así existen lo que podemos denominar dos sistemas: el de autorregulación y el de control externo. Si vemos la situación en México podemos decir que tal y como lo es el organismo encargado del petróleo, este tipo de regulación es mixta, es decir, ha tenido tanto normas autoregulatorias, como las que le ha impuesto en los últimos años el sector público. Del periodo de autoregulación han surgido varios programas; PEMEX cuenta con el equipo necesario en materia de anticontaminación, esto ha sido posible por otro tipo de regulación que a nivel ambiental tiene una importancia especial, que es la regulación que impone la misma industria petrolera a nivel internacional para el cumplimiento de prototipos y estándares industriales.

Con esto podemos resumir que la industria petrolera se alimenta de tres tipos de regulaciones, que tienen diversas fuentes de emisión: la nacional, la internacional y los convenios internacionales aplicables a las operaciones de explotación de campos petroleros, en particular a las de perforación, terminación y reparación de pozos.

En México, el primer estrato o nivel de regulación (la nacional) en materia ecológica se encuentra en las normas ambientales y de manejo de recursos naturales. Por ser materia federal su aplicación corresponde a la Federación y a las Secretarías de Estado. El segundo estrato lo ha llevado a cabo al tener que adaptarse a las normas industriales y la obtención de equipo y tecnología extranjera que para este fin se ha desarrollado vertiginosamente. El tercer estrato lo tenemos en la firma y la obligación de cumplimiento de los tratados internacionales en esta materia.

La información recopilada se resume en las siguientes publicaciones:

- ☉ Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente (Constitución de los Estados Unidos Mexicanos).
- ☉ Código de Reglamentaciones Federal de la Agencia de Protección Ambiental de los estados unidos de los EE.UU. (EPA).
- ☉ Reglamentación Aplicable en Canadá.
- ☉ Reglamentación Aplicable en el Reino Unido.
- ☉ Reglamentación Aplicable en Holanda.
- ☉ Reglamentación Aplicable en Operaciones de Perforación en el Lago de Maracaibo, Venezuela (Cía. Tritón).
- ☉ Convenios Internacionales.
  - a) Convenio Marpol 72/78.
  - b) Red Operativa de Cooperación Regional ante Autoridades Marítimas (ROCRAM).
  - c) Plan Integral Fronterizo México-E.U.N. (1992-1994).
  - d) Cooperativa del Caribe Limpio.
  - e) Protocolo de Cartagena.
  - f) Otros Convenios.
- ☉ Reglamentación interna de Petróleos Mexicanos para la protección del medio ambiente durante las operaciones de perforación, terminación y reparación a pozos marinos.



BIBLIOTECA  
INSTITUTO DE ECOLOGIA  
UNAM

## **V.1 ESTUDIO DE LA REGLAMENTACIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL**

El mecanismo de análisis consistirá en resumir la información y extraer los reglamentos aplicables a las descargas de desechos contaminantes.

A continuación se presentan los resultados obtenidos durante el análisis de las publicaciones revisadas.

### **V.1.1 REGLAMENTACIÓN NACIONAL**

En México los organismos encargados de las normas de regulación en materia ecológica son administradas y ejecutadas por la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARN y P).

#### **V.1.1.a Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente**

El Gobierno Federal ha instituido la "Ley General del Equilibrio Ecológico"(Ley General 1988) la cual se refiere a la prevención y control de la contaminación de las aguas con materiales nocivos a los seres biológicos entre los que se encuentran los derrames de hidrocarburos.

La creciente explotación del petróleo localizado en las cuencas marinas, además del incremento del tráfico de buques petroleros, petroquímicos y de carga en general que transportan sustancias nocivas en el medio marino constituye un riesgo importante de contaminación por lo que el Gobierno Federal adicionó en la Ley del Equilibrio Ecológico el " Plan Nacional de Contingencias para Combatir y Controlar Derrames de Hidrocarburos y otras Sustancias Nocivas en el mar".

El objetivo de este plan es el de establecer un mando unificado para llevar a cabo planes de acciones coordinados para el combate y control de los derrames importantes de hidrocarburos o cualquier otra sustancia nociva en el mar.

De esta revisión se encontró que no existe Normatividad Especifica aplicable a plataformas marinas de perforación, pero si hay un Reglamento que resultó de la adopción del Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimientos de Desechos y Otras Materias, ratificado en julio de 1992, así como el protocolo de esta misma fecha. En resumen, el Reglamento prohíbe el vertimiento de los siguientes desechos:

- **Compuestos orgánicos halógenos.**
- **Petróleo crudo.**
- **Combustibles.**
- **Diesel.**
- **Aceite lubricantes.**
- **Fluidos hidráulicos.**
- **Mezclas que contengan hidrocarburos.**
- **Mercurio y Compuestos de mercurio.**
- **Cadmio y compuestos de cadmio.**
- **Plásticos y demás materiales persistentes.**
- **Desechos y otras materias de alto nivel aditivo.**

Esta prohibición no se aplicara a sustancias que se transformen rápidamente en el mar, tierra, lagunas, etc., en sustancias inocuas mediante procesos físicos, químicos o biológicos siempre que:

- a) No den mal sabor a la carne de los organismos comestibles que estén en contacto, o
- b) No pongan en peligro la salud el hombre o de los animales.

Se requiere de un permiso especial expedido por la Secretaría de Marina o la Secretaría que corresponda para el vertimiento de los siguientes desechos o materias:

- Arsénico.
- Plomo.
- Cobre y sus compuestos.
- Zinc.
- Compuestos orgánicos de silicio.
- Cianuros.
- Fluoruros.
- Pesticidas y sus subproductos no incluidos en la lista anterior.

Al conceder permiso para el vertimiento de grandes cantidades de ácidos y álcalis se debe tener en cuenta la posible presencia de las sustancias nombradas en la lista anterior, además de los siguientes:

- a) Berilio.
- b) Cromo.
- c) Níquel y sus compuestos.
- d) Vanadio.

Así mismo, están sujetas a este permiso los contenedores, chatarra y otros desechos voluminosos que puedan hundirse hasta el fondo del mar y obstaculizar seriamente la pesca o navegación, los desechos radioactivos y otras materias radioactivas no incluidas en la primera lista.

Sin embargo, esta ley no establece límites cuantitativos de los contaminantes para ser vertidos al mar, o desechados en tierra.

## V.2 REGLAMENTACIÓN INTERNACIONAL

La industria se ha tenido que adaptar a las normas internacionales y a la obligación de cumplimiento de los Convenios internacionales en esta materia.

### V.2.1 Reglamentación Aplicable en los Estados Unidos de Norteamérica

Estados Unidos cuenta con una legislación bien establecida en materia de prevención y control de la contaminación. La ley federal directamente exige la limpieza del sitio contaminado con petróleo, a través del acta de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA). Otras leyes rigen durante la remediación del sitio, como el acta Global de Respuesta, Compensación y Responsabilidad (CERCLA ) de 1980, mejor conocida como Superfund y el Acta de Reautorización a las Mejoras del Superfund (SARA) de 1986, así como el Acta de Seguridad de Agua Potable (SDWA) y el Acta de Agua Limpia (CWA). El organismo encargado de que estas leyes se cumplan es la Agencia de Protección Ambiental ( EPA).

Se estudio el Código de Reglamentaciones Federales número 40, partes 425 a 699, de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica. Se revisaron las Reglamentaciones de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica que se aplican a las Costas del Golfo de México, en el Área de Louisiana y Texas, las cuales contienen los siguientes puntos relevantes:

I. Los Códigos y Reglamentaciones Federales. (CFR 40, partes a 423 a 699). En los cuales se describen en términos generales la reglamentación y limites de descarga de contaminantes.

II. Limitaciones para la descarga de efluentes.

En las cuales se establecen los limites actuales para el control de descarga de desechos contaminantes. (Código 40 de Reglamentaciones Federales, parte 435).

III. Permisos Generales en la Región del Golfo de México de los Estados Unidos de Norteamérica (Registros Federales, Reglamentaciones propuestas volumen 56, numero 49).

En resumen las limitaciones de descarga que manejan la Agencia de Protección ambiental son las siguientes:

Fluidos de Perforación, Terminación y Reparación de Pozos

Se prohíbe la descarga:

- Fluidos de perforación, terminación y reparación de pozo que tenga una toxicidad LC50 menor o igual a 30,000 p.p.m. en base a la fase de sólidos suspendidos.
- Fluidos base aceite (Emulsión inversa) o que contenga aceite diesel.
- Fluidos que contenga aceite usado para la lubricación de maquinaria.

Recortes de Formación

Se prohíbe la descarga de recortes generados con los fluidos de perforación mencionados en el párrafo anterior.

Aceite Diesel, Grasas e Hidrocarburos

Se prohíbe la descarga de aceite diesel e hidrocarburos.

Drenaje de plataforma

La concentración límite de grasa y aceite en la descarga del drenaje de agua producida debe ser de 72 mg/l para cualquier día y 48 mg/l como promedio en 30 días consecutivos.

### Metales Pesados (Mercurio y Cadmio)

Las concentraciones límites de Mercurio y Cadmio, presentes en la barita empleada para densificar el fluido, no deberán exceder de 1.0 y 3.0 mg/kg. respectivamente.

### **V.2.2 Reglamentación Aplicable en Canadá**

Por lo que respecta a Canadá, el Gobierno Federal ha promulgado varias leyes ambientales de aplicación general, además de que cada provincia tiene sus propios esquemas que regulan la descarga o emisión de sustancias en el ambiente y establecen medidas de protección ambiental y procedimientos de evaluación ambiental. En Canadá ha sido muy fácil la toma de acciones a emergencias ambientales, debido a que como parte de su cultura todos los recursos naturales realmente se protegen de la contaminación. Por ejemplo, la declaración inicial del Acta Canadiense de Protección Ambiental (CEPA) de 1988 dice que : la protección del ambiente es esencial para el bienestar de Canadá, la presencia de sustancias tóxicas en el ambiente es de interés nacional, en parte por aspectos de salud y además porque éstas no pueden ser contenidas dentro de barreras geográficas y es necesario cumplir con las obligaciones internacionales en materia ambiental.

Para éste caso se estudiaron las Guías para el tratamiento y disposición de residuos en instalaciones de Explotación y Producción de Petróleo en Canadá. En la revisión del documento se encontró una serie de recomendaciones para el tratamiento de residuos en instalaciones de perforación de pozos.

En general los fundamentos de estas guías, es que en lo posible cualquier descarga de sustancias usadas o resultantes de actividades de la Explotación y Producción del Petróleo no causen efectos adversos en el Medio Ambiente.

Entre lo mas relevante que se encontró en las guías de esta reglamentaciones se tiene:



☞ El agua producida se debe de tratar hasta obtener una concentración máxima de 40 mg/l de hidrocarburos para que pueda ser descargada al medio ambiente.

☞ Por lo que respecta al agua de desplazamiento, de lastre y drenaje de los equipos de perforación, así como los fluidos de tratamiento de pozos, deben de ser tratados con la finalidad de obtener una concentración no mayor de 15 mg/l de hidrocarburos para ser descargada al mar o desechados en tierra.

### V.2.3 Reglamentación Aplicable en el Reino Unido

Presenta condiciones de descarga de recortes contaminados con hidrocarburos como resultado de las operaciones de perforación marina; en Inglaterra donde a grandes rasgos prohíben las descargas de hidrocarburos libres ya sea que estos acompañen como contaminantes a los recortes o se hayan adicionado a los lodos base aceite y emulsión inversa. El programa de la utilización de lodos en perforación debe estar lo suficientemente soportada a fin de que la autoridad rectora, que es este caso es el Departamento de Comercio e Industria, pueda autorizar, basándose en razones geológicas, el uso de lodos de emulsión inversa o de base aceite con la advertencia de que el aceite debe ser del tipo de baja toxicidad. En caso de utilizar diesel se deben proporcionar razones y justificaciones de su uso.

(Sección 23 del Acta para la Prevención de la Contaminación por Hidrocarburos de 1971), como cumplimiento a los permisos de descarga de desechos aceitosos provenientes de operaciones de perforación. En su revisión se encontraron condiciones que deben cumplir los recortes resultantes de las operaciones de perforación, antes de ser vertidos al mar o desechados en tierra.

Entre las mas importantes se tiene las siguientes:

☞ Se prohíbe toda descarga de hidrocarburos.

☞ En caso de ser indispensable el uso de un lodo base aceite, este debe de ser del tipo de los de baja toxicidad.

➤ Los recortes de perforación no deben de exceder los 100 g de hidrocarburos por kg. de recortes en base seca.

➤ Se prohíbe el uso de fluidos base diesel.

#### **V.2.4 Reglamentación Aplicable en Holanda**

El soporte de la Legislación de Holanda en lo referente a la contaminación de Aguas Marinas se basa en dos Actas Ambientales siendo éstas las siguientes:

➤ La contaminación del agua de mar implementada en la convención de Oslo del 15 de febrero de 1972.

Este convenio sólo afectaba regionalmente el área del norte del Atlántico quedando excluido el Mediterráneo y el Báltico, cuyo control ha sido objeto de acuerdos independientes.

➤ La prevención de la Contaminación originada por buques, implementada y firmada en Londres en 1973, revisada y complementada en 1978.

Dentro de los aspectos mas relevantes de estas actas ambientales se tienen las siguientes limitaciones:

- Se prohíben las descargas al mar de los residuos considerados como contaminantes y peligrosos, provenientes de instalaciones marinas ( plataformas), embarcaciones y aeroplanos.

- Se consideran en la lista de sustancias peligrosas las siguientes:

- a) Los hidrocarburos.

- b) Los líquidos peligrosos transportados en grandes volúmenes, (mas aquellos indicados por el Ministerio de Regulaciones).

- c) Los desechos generados en los buques.

Sin embargo esta legislación no especifica los límites de descarga de desechos no peligrosos.

### V.2.5 Convenios Internacionales

Durante la segunda mitad del siglo XX, las normas del derecho ambiental internacional han aumentado considerablemente, multiplicándose los foros, convenciones y tratados globales, así como regiones cuyas disposiciones tienen como fin la protección del medio ambiente. Como resultado de esta evolución ha surgido un sistema complejo de convenios y tratados en materia ambiental que en ocasiones se complementa o se contraponen. Asimismo, en diversos foros se elaboran o revisan normas jurídicas en función de nuevos principios del derecho internacional del medio ambiente.

Los convenios internacionales versan especialmente sobre la contaminación marina por hidrocarburos, lo que es explicable al suponer el transporte y manipulación en el mar de los productos del petróleo, una de las amenazas más serias que gravitan sobre los océanos. El enorme volumen de los líquidos implicados en estas operaciones, como consecuencia de la sustancial dependencia del mundo industrial de la energía generada por estas materias primas, su alta capacidad contaminante y las características actuales de los fletamentos en grandes buques petroleros, hacen que grave por estas causas una seria amenaza para todos los mares.

Los convenios internacionales han abordado en fechas más recientes el problema de la utilización del mar como depósito de toda clase de sustancias, incluyendo las radiactivas. También se intenta por estas vías solucionar las cuestiones relativas a la contaminación por vertidos desde las costas o por explotación de las plataformas marinas.

#### a) Convenio Marpol 72/78.

Es un acuerdo Internacional que contiene una serie de reglamentaciones para prevenir la contaminación del mar por buques, pero consideran las Plataformas Petroleras de Explotación (Perforación) y Producción (Petróleo o Gas), dentro de éstas:

Las exigencias del anexo 1 de MARPOL a estas Plataformas Marinas son equivalentes a los buques no Petroleros de un tonelaje igual o superior a 400 toneladas. Aunque este convenio afecta a toda clase de sustancias vertidas desde buques, tiene presente fundamentalmente los de hidrocarburos pretendiendo llenar determinadas lagunas, ya advertidas, del ordenamiento internacional, reforzando sobre todo los poderes disuasorios de los Estados y superando en alguna medida la exclusividad de los controles por parte de los Estados.

Las descargas operacionales de hidrocarburos o aguas aceitosas de las plataformas marinas se dividen en cuatro categorías: drenaje de la plataforma, drenaje de espacios de máquinas descarga de aguas de producción y descargas de agua de desplazamiento. Solamente las descargas de los espacios de máquinas de las plataformas están sujetas a las disposiciones del anexo 1 de MARPOL (73/78). Las otras descargas deben ser reglamentadas por la Legislación Mexicana. Las exigencias de este convenio para la descarga de plataformas que esta sujeta a las disposiciones de MARPOL son: Para plataformas localizadas a menos de 12 millas de la costa 15 p.p.m de hidrocarburos y a mas de 12 millas de la costa 100 p.p.m. de hidrocarburos.

b) Red Operativa de Cooperación Regional entre Autoridades Marítimas (ROCRAM).

Establece una serie de recomendaciones para prevenir la contaminación del mar durante el transporte de hidrocarburos.

c) Plan Integral Ambiental Fronterizo México - EE.UU.

Es un plan elaborado por lo que fue SEMARNYP (antes SEDESOL) y EPA a través del Border Ecology Protect (BEP), han identificado una amplia variedad de serios problemas ambientales en el área, relacionado con la calidad de aguas, calidad de aire, manejo de residuos peligrosos y la prevención de posibles accidentes. Dentro de las prioridades ambientales consagradas en el plan (1992-1994) destacan:

1) Control de descarga industriales y municipales para prevenir y reducir la contaminación de las aguas.

- 2) Monitoreo y seguimiento de residuos peligrosos.
- 3) Prevenir la contaminación del aire que exceda las normas ambientales vigentes.
- 4) Desarrollo de planes de contingencia y emergencias.

Ejemplos específicos, los tenemos en algunas ciudades fronterizas como:

Tijuana-San Diego.  
 Mexicali-Valle Imperial.  
 Nogales-Nogales.  
 Ciudad Juárez-El Paso.  
 Nuevo Laredo-Laredo.  
 Matamoros-Brownsville.

d) Cooperativa del Caribe Limpio.

Esta Cooperativa, con sede en Fort Lauderdale, Florida, se encarga de presentar asistencias en caso de derrames de petróleo por operaciones de Buques Tanques en la región de Caribe.

e) Protocolo de Cartagena.

Este Protocolo hace referencia a la cooperación en la lucha de derrames de petróleo en el Caribe, el cual entro en vigor en octubre de 1986, el cual incluye a Jamaica, México, Venezuela.

f) Otros Convenios.

☞ Los convenios de Londres fueron revisados en 1969, para prohibir de manera absoluta la descarga de hidrocarburos en determinadas zonas, esto para reglamentar mas estrictamente las condiciones de velocidades y cantidad en el vertido de los hidrocarburos en determinadas zonas y para permitir en determinados casos la intervención en alta mar. Sin embargo, este Convenio no ha entrado todavía en vigor al haber sido aprobado sólo por trece Estados.

a) Convenio sobre Alta Mar de 29 de abril de 1958.

Este convenio tiene una compulsividad relativamente escasa en cuanto que simplemente obliga a los Estados a dictar disposiciones para evitar la contaminación de las aguas del mar por los hidrocarburos vertidos por buques.

b) Convenio de Bruselas sobre intervención en Alta Mar en caso de accidente.

Esta convención de 29 de noviembre de 1969, fue impulsada después del accidente del Torrey Canyon, introduciendo posibilidades de intervención por parte de los Estados ribereños, en alta mar, el objeto de adoptar las medidas necesarias para prevenir, atenuar o eliminar graves e inminentes peligros que presenta para sus costas el posible vertimiento de hidrocarburos como consecuencia de un accidente. Antes de adoptarse las medidas oportunas deben consultarse a los otros Estados afectados y en particular al pabellón del navío.

☉ Convenios tendientes a prevenir el vertido desde buques o aeronaves de sustancias perjudiciales.

Este tipo de Convenios tiende a prevenir la contaminación del mar por vertimiento intencionado de desechos y otras materias que son transportadas a estos efectos, normalmente por buques, al objeto de su eliminación. Se trata, pues, de la evacuación deliberada en el mar de ciertas sustancias y no de consecuencias inherentes a las operaciones normales de la navegación y el transporte, no afecta tampoco a los vertidos realizados desde la costa.

Entre estos Convenios se encuentran:

a) Convenio de Oslo para el Atlántico Norte de 1972.

Este Convenio sólo afectaba regionalmente el área del norte del Atlántico, quedando excluido el Mediterráneo y el Báltico, cuyo control ha sido objeto de acuerdos independientes. El Convenio de Oslo, sirvió de base al Convenio de Londres.

b) Convenio de Londres de 1972.

A diferencia del anterior convenio, tiene vocación universal basándose prácticamente en los mismos criterios. Adicionando entre las materias prohibidas las de alto nivel de radioactivo.

A diferencia de la onvención de Oslo, no implica ningún mecanismo, que limite la supervisión internacional sobre la aplicación de sus reglas por cada Estado.

➤ Convenios en materia de responsabilidad.

Estos convenios versan hasta la fecha exclusivamente de resarcimiento de daños producidos por el vertido de hidrocarburos y concretamente tratan de paliar las consecuencias originadas por los accidentes de los barcos petroleros. En este sentido se intenta arbitrar con antelación los fondos necesarios y establecer los mecanismos para la responsabilidad a que hubiere lugar.

➤ Fondos Internacionales de Compensación.

Alguno de estos fondos son de carácter privado, como el creado por la International Tanker Owners Pollution Federation, en 1969, con cargo al cual los países afectados por un incidente de este tipo podrían recibir compensaciones por los gastos de limpieza ocasionados hasta la suma de diez millones de dólares, cifra que fue elevada a 30 millones como consecuencia del denominado Plan Cristal, que entro en vigor en 1971 y al que se ignora si los propietarios del Urquila estaban acogidos.

La constitución de fondos con destino a la reparación de estos daños ha sido contemplada en el ordenamiento internacional, como consecuencia de la Conferencia de Bruselas de 1969, patrocinada por la Organización Consultiva Marítima Intergubernamental, donde se adoptó una resolución sobre el establecimiento de un fondo Internacional de Compensación por Daños Causados por la Contaminación de Hidrocarburos, resolución que dio lugar a un convenio internacional.

☞ Convenio Internacional para prevenir la contaminación de las aguas del mar por hidrocarburos del 12 de mayo de 1954 (OILPOL/51), ya derogado el 2 de octubre de 1983 por el convenio Internacional para la Prevención de la Contaminación por Buques (MARPOL 73/78) (OMI).

☞ Convenio Internacional relativo a la intervención en alta mar en casos de accidentes que causan una contaminación por hidrocarburos del 29 de noviembre de 1969 (INTERVENTION/69) (OMI).

☞ Convenio Internacional sobre responsabilidad civil por daños causados por la contaminación por hidrocarburos del 29 de noviembre de 1969 (CLC/69) y sus dos protocolos de 1976 y 1984, este último incrementó considerablemente la indemnización por lo que aun no entra en vigor (OMI). México no es parte, pero ahora se estudia su aceptación. Estados Unidos tampoco lo es.

☞ Convenio Internacional sobre constitución de un Fondo Internacional de indemnización de daños debidos por la contaminación de hidrocarburos del 18 de diciembre de 1971 (FUND/71). Y sus protocolos de 1976 y 1984 que incrementó considerablemente las aportaciones de los Estados, ninguno Protocolo ha entrado en vigor.



### V.3 REGLAMENTACIÓN INTERNA DE PETROLEOS MEXICANOS PARA LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE DURANTE LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN, TERMINACIÓN Y REPARACIÓN A POZOS MARINOS

Para el desarrollo de este reglamento, se consultó la legislación Nacional e Internacional de las cuales se extrajeron los reglamentos más relevantes con los que se integro la reglamentación presentada en esta sección. Los límites de descarga presentados incluyen: fluidos de perforación, terminación y reparación; recortes de perforación; afluentes durante la inducción y estimulación de pozos; aceite lubricante de máquinas y equipo; drenaje de plataforma y agua de lastre; purga de calderas y agua de enfriamiento; agua y arena producidas y materiales químicos empleados durante las operaciones de perforación, terminación y reparación de pozos.

#### V.3.1 Ritmo de descarga de fluidos

**Reglamentación interna para la protección del medio ambiente aplicable a plataformas.**

**Ritmo de descarga de fluidos.**

Los lodos de perforación base agua, recortes de perforación y agua de lavado que no contengan aceite libre y cumplan con los límites de toxicidad se pueden descargar mediante el siguiente control y limitaciones.

Profundidad de fondo marino	Ritmo de descarga
0 - 2 m	No se puede descargar
2 - 5 m	40 m / hr
5 - 20 m	80 m / hr
20 - 40 m	120 m / hr
40 m	160 m / hr

### V.3.2 Límite de descarga de fluidos

Reglamentación interna para la protección del medio ambiente aplicable a plataformas.

Límite de descarga de fluidos de perforación, terminación, y reparación al mar .

CARACTERÍSTICAS DEL AFLUENTE	LÍMITES DE DESCARGA	REQUERIMIENTOS DE MONITOREO		REGISTRO DE DATOS
		FRECUENCIA DE MEDIDA	TIPO DE MUESTRA O MÉTODO	
Toxicidad (1) LC 50 a 96- horas	Mínimo 30 000 PPM	Una vez al mes y con cambio de lodo	simple (2)	LC 50 a 96 horas
Hidrocarburos libres	Nada de hidrocarburos libres	Una vez por día	Visual (brillo en el agua receptora	días en que el brillo es observado
flujo de la descarga (3)	15 m <sup>3</sup> /hora max.	Una vez por día	Estimado	Flujo máximo por hora o volumen de bache
Flujo de la descarga en áreas controladas 3)		Una vez por día	Medida	Flujo máximo por hora o volumen de bache
Volumen descargado	***	Una vez al mes	Estimado	Total mensual

#### Notas:

- 1) Pruebas de toxicidad empleando la fase de partículas suspendidas.
- 2) La muestra deberá de obtenerse del fluido de lodo después de la temblorina.

- 3) Descarga de fluidos no tóxicos y sin hidrocarburos, diesel o aceite lubricante.
- A) La descarga al mar de fluidos de perforación base aceite y emulsión inversa esta prohibida.
- B) Se prohíbe la descarga de fluidos de perforación contaminados con hidrocarburos. Los fluidos de perforación, si contienen aceite de máquinas, aceite de enfriamiento, aceite hidráulico o cualquier otro lubricante que haya sido usado para otros propósitos ajenos a la lubricación en el pozo de perforación, se prohíbe su descarga.
- C) Si el diesel es agregado al fluido de perforación, este no puede descargarse al mar.

### V.3.3 Recortes de formación

**Reglamentación interna para la protección del medio ambiente aplicable a plataformas.**

#### **Recortes de formación**

CARACTERISTICAS DEL AFLUENTE	LIMITES DE DESCARGA	REQUERIMIENTOS DE MONITOREO		REGISTRO DE DATOS
		FRECUENCIA DE MEDIDA	TIPO DE MUESTRA O METODO	
Hidrocarburos libres	Nada de hidrocarburos libres	Una vez al día	Visual (brillo en el agua receptora)	Días en que el brillo es observado
Volumen (m3)	*****	Una vez al mes	Estimado	Total mensual

- A) La descarga de recortes al mar los cuales han sido producidos con fluidos tóxicos o con contenido de hidrocarburos (diesel) inaceptables.

### V.3.4 Aceite lubricante de maquinaria y equipo.

Reglamentación interna para la protección del medio ambiente aplicable a plataformas.

Aceite lubricante de maquinaria y equipo.

CARACTERÍSTICAS DEL AFLUENTE	LÍMITES DE DESCARGA	REQUERIMIENTOS DE MONITOREO		REGISTRO DE DATOS
		FRECUENCIA DE MEDIDA	TIPO DE MUESTRA O MÉTODO	
Aceite lubricante nuevo o usado	No se permite su descarga	*****	*****	*

### V.3.5 Aguas aceitosas.

Reglamentación interna para la protección del medio ambiente aplicable a plataformas.

Drenaje de plataforma (agua aceitosa).

CARACTERÍSTICAS DEL AFLUENTE	LÍMITES DE DESCARGA	REQUERIMIENTOS DE MONITOREO		REGISTRO DE DATOS
		FRECUENCIA DE MEDIDA	TIPO DE MUESTRA O MÉTODO	
Hidrocarburos libres	72 mg/lt. max. diario  48 mg / lt prom. mensual	Una vez al día	Destilación de Retorta	Máximo mensual y promedio mensual
Volumen	*****	Una vez al día	Estimado	Total mensual

### V.3.6 Aguas duras.

**Reglamentación interna para la protección del medio ambiente aplicable a plataformas.**

**Purga de caldera, agua de enfriamiento, unidades desaladoras.**

CARACTERÍSTICAS DEL AFLUENTE	LÍMITES DE DESCARGA	REQUERIMIENTOS DE MONITOREO		REGISTRO DE DATOS
		FRECUENCIA DE MEDIDA	TIPO DE MUESTRA O MÉTODO	
Hidrocarburos  Libres	Nada de hidrocarburos  libres	una vez al día	Visual (brillo en el agua receptora)	días en que el brillo es observado

### V.3.7 Estimulación e inducción de pozos.

**Reglamentación interna para la protección del medio ambiente aplicable a plataformas.**

**Afluentes durante la estimulación e inducción de pozos.**

CARACTERÍSTICAS DEL AFLUENTE	LÍMITES DE DESCARGA	REQUERIMIENTOS DE MONITOREO		REGISTRO DE DATOS
		FRECUENCIA DE MEDIDA	TIPO DE MUESTRA O MÉTODO	
Hidrocarburos  libres	Nada de hidrocarburos  libres	Una vez por operación	Visual (brillo en el agua receptora)	Días en que el brillo es observado
Solución ácida	Potencial de hidrogeno neutro pH= 7	Una vez por operación	Simple	Cada vez que se descargue
Agua y Arena (1)	72 mg/lb. max. diario	Una vez por prueba	Destilación en retorta	Máximo por prueba

**NOTA:**

- 1) En el caso de producir agua y arena con el flujo de afluente durante la inducción.

### V.3.8 Materiales químicos

Reglamentación interna para la protección al medio ambiente aplicable a plataformas .

Materiales químicos (aditivos, cemento, barita, etc.)

a) Antes de realizar una descarga de materiales químicos al mar debe de establecerse la toxicidad de éste.

b) El contenido de cadmio (Ca) y mercurio (Hg) en la barita empleada para densificar el fluido de perforación, no deberá exceder 3 mg. / kg. respectivamente.

#### V.4 REGLAMENTACIÓN PROPUESTA PARA LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE DURANTE LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN, TERMINACIÓN Y REPARACIÓN DE POZOS.

Durante la revisión de los reglamentos nacionales aplicados a la protección ambiental durante las operaciones de un equipo de perforación, no existe en realidad ninguna reglamentación y normatividad pública, aplicable expreso, para ello ha sido necesario la adecuación, adaptación e interpretación de las leyes y reglas a otras áreas y actividades, o bien adoptar reglamentaciones internas (como las que ha realizado PEMEX).

De tal manera es necesario elaborar una reglamentación adecuada a las actividades de perforación, reparación y terminación de pozos aplicable a las características y leyes del país.

De todas las referencias consultadas y en base al análisis efectuado, se extrajeron los reglamentos más relevantes con los cuales se elaboró una reglamentación presentada en esta sección. Los límites de descarga incluyen: fluidos de perforación, terminación y reparación; recortes de formación; efluentes durante la inducción y estimulación de pozos; aceite lubricante de máquinas y equipo; drenajes en caso de plataformas y agua de lastre; purga de calderas y agua de enfriamiento; agua y arena producidas y materiales químicos empleados durante las operaciones de perforación, terminación y reparación de pozos.

La reglamentación adopta las normas de la EPA por considerarse completas, fundamentadas y restrictivas.

##### ☞ Fluidos de Perforación, Terminación y Reparación de Pozos

Se prohíbe la descarga de:

- Fluidos de perforación, terminación y reparación de pozo de que tenga una toxicidad LC50 menor o igual a 30,000 p.p.m en base a la fase de sólidos suspendidos.
- Fluidos base aceite (Emulsión Inversa) o que contenga aceite diesel.

● Fluidos que contengan aceite usado para la lubricación de maquinaria.

⇒ Recortes de formación

Se prohíbe la descarga de recortes impregnados con los fluidos de perforación mencionados en el párrafo anterior.

⇒ Aceite Diesel, Grasas e Hidrocarburos

Se prohíbe la descarga de Aceite Diesel e Hidrocarburos.

⇒ Drenaje de los equipos de perforación

La concentración límite de grasa y aceite en la descarga del drenaje de agua producida debe ser de 72 mg/l para cualquier día y 48 mg/l como promedio en 30 días consecutivos.

⇒ Metales Pesados (Mercurio y Cadmio).

Las concentraciones límites de Mercurio y Cadmio, presentes en la barita empleada para densificar el fluido, no deberán exceder de 1.0 y 3.0 mg/kg. representativamente.

⇒ Los Lodos de Perforación base agua, Recortes de Perforación y Agua de Lavado que no contenga aceite libre y cumplan con los límites de toxicidad se pueden descargar mediante el siguiente control y limitaciones.

En Pozos Marinos:

Profundidad de Fondo Marino	Ritmo de descarga
0 - 2 m	No se puede descargar
2 - 5 m	40 m/h
5 - 20 m	80 m/h
20 - 40 m	120 m/h
40 m	160 m/h



En pozos terrestres:

Se recomienda compactar bien el terreno y si es posible impermeabilizar.

⇒ Se prohíbe el vertimiento de los siguientes desechos:

- Compuestos orgánicos halógenos.
- Petróleo crudo
- Combustóleo.
- Diesel.
- Aceites lubricante.
- Fluidos hidráulicas.
- Mezclas que contengan hidrocarburos.
- Mercurio y compuestos de mercurio.
- Cadmio y compuestos de cadmio.
- Plásticos y demás materiales persistentes.
- Desechos y otras materias de alto nivel aditivo.

Esta prohibición no se aplicara a sustancias que se transformen rápidamente en el mar, tierra, lagunas, etc., en sustancias inocuas mediante Procesos Físicos, Químicos o Biológicos siempre que:

- a) No den mal sabor a la carne de los organismos comestibles que estén en contacto, o
- b) No pongan en peligro la salud el hombre o de los animales domésticos.

Se requiere de un permiso especial expedido por la Secretaria de Marina o la Secretaria que corresponda para el vertimiento de los siguientes desechos o materias:

- Arsénico
- Plomo
- Cobre y sus compuestos
- Zinc
- Compuestos orgánicos de silicio
- Cianuros
- Fluoruros
- Pesticidas y sus subproductos no incluidos en la lista anterior.

Al conceder permiso para el vertimiento de grandes cantidades de ácidos y álcalis se debe tener en cuenta la posible presencia de las sustancias mencionadas en la lista anterior, además de las siguientes:

- a) Berilio.
- b) Cromo.
- c) Níquel y sus compuestos.
- d) Vanadio.

Así mismo, están sujetas a este permiso los contenedores, chatarra y otros desechos voluminosos que puedan hundirse hasta el fondo del mar y obstaculizar seriamente la pesca o navegación, los desechos radioactivos y otras materias radioactivas no incluidas en la primera lista.

- Se debe monitorear las descargas de desechos tóxicos y no tóxicos incluyendo el contenido de hidrocarburos tanto en descargas líquidas como en sólidas.
- Realizar pruebas de toxicidad de los lodos de perforación utilizados.
- Determinar del contenido de Cadmio y Mercurio en la barita como parte del control de calidad.

## V.5 EVALUACIÓN DE PROYECTOS AMBIENTALES

Para poder evaluar un proyecto ambiental es necesario establecer una metodología de operación, en donde se deberán de seguir una serie de pasos y una modelización del problema a resolver. Para lo cual se propone el siguiente método de evaluación, la cual consiste de ocho pasos básicos:

1. Establecer una política ambiental.
2. Buscar las diferentes opciones de solución.
3. Visualización de la legislación.
4. Análisis de los impactos ambientales y los beneficios.
5. Factibilidad técnica.
6. Evaluación de riesgos en el manejo de desechos.
7. Mantener comunicación con la comunidad.
8. Observar la factibilidad económica de aplicación.

La descripción de estos ocho pasos básicos se hará a continuación:

### 1. Establecer una política ambiental

Una política ambiental es todo lo referente a las acciones de solucionar problemas ambientales, en donde se enmarcarán los siguientes conceptos: reducir, reciclar, recuperar, tratar, y desechar. La Agencia de Protección Ambiental de Norteamérica (EPA), ha adoptado y obligado a sus legisladores estos principios obteniendo magníficos resultados.

La definición de los puntos son:

Reducir Es evitar el volumen de desechos y/o su toxicidad en la fuente donde se produce.

Reciclar Los desechos inevitables deben rehusarse o recuperarse siempre que sea posible. Un material es reciclable si satisface esto.

Recuperar Contempla el material rescatado a través de un proceso de regeneración.

Tratar Cuando el desecho no puede evitarse o reciclarse debe ser tratado para reducir su volumen y toxicidad tanto como sea posible antes de deshacerse de él.

## 2. Buscar las diferentes opciones de solución

Cuando ya se conoce el problema, su magnitud y como afecta al medio ambiente, se pueden establecer caminos a seguir para encontrar la solución. Es el momento de recopilar información, estudiar las tecnologías aplicables sin eliminar posibles soluciones, aunque por el momento parezcan inadecuadas (tal vez posteriormente sea la solución).

Deberá contemplarse no solo las técnicas ya probadas, sino también las que se encuentran en estudio. Tampoco deberá ser limitante el aspecto económico en este momento.

## 3. Visualización de la legislación

La primer eliminación será en función de la legislación nacional, estatal y local. Cada alternativa de solución encontrada, deberá cumplir las normas de la localidad no solo en el presente, sino en todo el tiempo de aplicación (contemplar que las reglamentaciones son cada vez más estrictas, y una mala decisión puede ocasionar que sea inútil en un corto periodo lo que redundaría en costos).

Es el momento de considerar aspectos legales como permisos, contactos empresariales y personales, así como el tiempo que tardará en aprobarse la aplicación del proceso.

#### 4. Análisis de los impactos ambientales y sus beneficios

Todas las opciones para el manejo de desechos deberán ser evaluados para conocer los efectos que pueden ocasionar al medio ambiente, considerando factores como la calidad del agua descargada, la calidad del aire en relación a las emisiones de gases, todas aquellas sustancias que al contacto con el agua formen compuestos contaminantes y también los efectos que se generarán en el suelo del entorno.

Por ello es conveniente hacer evaluación de:

1. La estimación de los volúmenes generados y la frecuencia en que se producen.
2. El análisis de los desechos y de la composición de los productos del tratamiento, así como de sus características tóxicas.
3. La familiarización del ambiente y su sensibilidad a la contaminación. Deberá contemplarse también que beneficios podrían obtenerse de la aplicación del proceso o técnica seleccionada, tanto en el medio ambiente como para la comunidad, para brindarse en cuanto se implante el proceso.

#### 5. Factibilidad técnica

Se evalúa la factibilidad técnica de cada opción, los factores involucrados serán: disponibilidad del tratamiento, nivel tecnológico, capacidad de procesamiento, seguridad y riesgo ambiental.

Se deberá analizar todas las características de los procesos, los requerimientos para su aplicación tanto de equipo como de personal y si se encuentra al alcance su implantación.

#### 6. Evaluación de riesgos en el manejo de desechos

Como parte de la revisión de cada alternativa de solución, se deberá evaluar la generación potencial de desechos y la manera de disponer de los mismos.

Es sabido que la empresa generadora de un desecho será siempre responsable de él, por lo que la selección del proceso de tratamiento y disposición de los desechos deberá ser totalmente segura, para evitar problemas posteriores.

Si se contrata alguna empresa para el manejo de los desechos, deberá ser investigada cuidadosamente, ya que se infringe alguna ley, la misma responsabilidad caerá sobre el generador de desechos.

### 7. Mantener comunicación con la comunidad

Las preocupaciones de la comunidad deberán ser atendidas y tomadas en consideración de tal forma que el proceso seleccionado sea compatible y bien visto por la población.

El conocimiento de situaciones similares, en otras poblaciones, las reacciones de la gente y sus comentarios deberán ser investigados y analizados de tal forma que el proyecto no sea considerado dañino sin bases o por publicidad errónea.

Si se está convencido del proceso, es conveniente fomentar una campaña de sensibilización, primero con el mismo personal y después con la comunidad informando del proceso, sus características y forma de operar, de tal manera que no se convierta en una "caja negra", que sea a primer instancia desagradable.

### 8. Observar la factibilidad económica de aplicación

La parte final y determinante en la selección de un proceso será la facilidad económica del mismo. Mediante una evaluación de costos se determinará cual de las tecnologías o procesos será el indicado y más conveniente. Sin embargo es importante recordar que la opción menos cara frecuentemente nos conduce al más bajo costo de la operación global.

# VI

## PROCESOS DE SANEAMIENTO

Aunque se ha venido haciendo mucho énfasis en el establecimiento de medidas preventivas con el fin de reducir o eliminar la descarga de materiales extraños al medio ambiente, no se puede ignorar la contaminación que ocurrió en el pasado.

Ante la inmensa superficie de zonas afectadas por la actividad humana, surge la necesidad de tomar acciones para controlar la dispersión de contaminantes y buscar su eliminación. En los países más avanzados se han desarrollado tecnologías para remediación y restauración de sitios, sin embargo, dado que cada sitio dañado constituye una problemática específica, se requiere el establecimiento de criterios y gran cantidad de información para decir como controlar y eliminar los contaminantes.

Existen varios términos que comúnmente se usan como sinónimos: remediación, limpieza, restauración, recuperación, sin embargo, es necesario entender el contexto en el que estos emplean, ya que puede hacerse alguna diferenciación entre ellos.

### VI.1 CONCEPTOS.

A continuación se describirán los conceptos de Remediación, restauración, Suelo, Subsuelo y Contaminación.

#### VI.1.1 El Concepto de Remediación.

Se entiende por remediación o limpieza a las acciones que se toman para la reducción o eliminación de los niveles de contaminantes en suelo y subsuelo.

### **VI.1.2 El Concepto de Restauración.**

Restauración o recuperación es la acción devolver a un sitio, sus características originales. Es decir, rescatar o mejorarla la función y la imagen que el suelo tenía antes de haber sido afectado por los contaminantes.

### **VI.1.3 El Concepto del Suelo y Subsuelo.**

El suelo se define como un material no consolidado sobre la superficie de la tierra, que ha sido formado mediante una dinámica natural a partir de la corteza terrestre con la influencia de factores genéticos y ambientales, proceso que ha tomado miles de años para tenerlos en su estado comúnmente conocido.

El suelo y subsuelo en su conjunto, por que no pueden ser entidades separadas, tienen diversas funciones como: filtro amortiguador y transformador, productor de alimentos, hábitat biológico y reserva genética, medio físico para la construcción, fuente de materias primas y herencia cultural.

Suelo y subsuelo son el filtro que limpia el agua de lluvia que recarga los acuíferos y que los protege contra la contaminación.

### **VI.1.4 El Concepto de Contaminación.**

El término contaminación puede definirse como la introducción al ambiente de un compuesto, en cantidad tal que incrementa su concentración natural y que excede la capacidad de la naturaleza para degradarlo y reincorporarlo a los ciclos de transformación de la materia y energía.

El petróleo es una mezcla muy compleja de cientos de compuestos químicos, sus características y la proporción de sus constituyentes varían en función de su origen geológico y geográfico. El petróleo es un producto natural por lo que propia naturaleza es capaz de reincorporar una muy pequeña fracción de este a los ciclos biogeoquímicos, ya que la complejidad química de algunos de sus constituyentes hace que el proceso requiera de varios años.



## VI.2. APLICACIÓN DEL CONCEPTO DE REMEDIACIÓN.

Una vez que se ha diagnosticado el estado de contaminación de un sitio, suelo y subsuelo, se deben plantear alternativas para su limpieza y establecer los niveles de limpieza. Es decir, el límite máximo de contaminantes que se aceptara en un suelo después de haber sido sometido a un tratamiento de remediación.

Dado que el México no existen normas oficiales (NOM) que establezcan estos niveles de limpieza, se pueden seguir unos de los siguientes caminos: 1) tomando como referencia normas extranjeras, 2) por evaluación de riesgo, 3) en función del uso que se dará al suelo.

La concentración de contaminantes se expresa a través de un parámetro indicador que corresponde al contaminante que esta en mayor proporción o que es el mas peligroso. Debido a que tampoco contamos con métodos analíticos oficiales para determinar la concentración de contaminantes en México se acostumbra recurrir a los establecidos por otras instituciones oficiales extranjeras. Los mas comunes son los métodos EPA (Environmental Protection Agency) y los ASTM (American Society for Testing Materials).

La concentración de los contaminantes se puede evaluar de manera global como hidrocarburos totales del petróleo (HTP) ,o bien se elige el mas tóxico de sus componentes.

### 1. Tomando como referencia norma extranjeras

El ejemplo clásico es tomar como referencia los estándares establecidos por la EPA en los Estados Unidos. En este país no existe un listado de normas único, los gobiernos estatales han establecidos sus límites permisibles, los cuales fueron definidos de acuerdo a una evaluación de riesgo.

### 2. Por evaluación de riesgo

Se refiere a los valores deducidos después de una evaluación de los riesgos específicos del lugar de estudio. Las normas oficiales en los estados de Estados Unidos fueron establecidas bajo este criterio.

Los estudios de evaluación de riesgo son el resultado de estudios de análisis de peligrosidad, de exposición y de riesgo. Con el análisis de peligrosidad se determina la toxicidad de los contaminantes en el sitio, mientras que con el de exposición se evalúan los medios por los cuales un ser humano encuentra los contaminantes que se generan de sus sitios. En el análisis de riesgo, los niveles de exposición humana para un compuesto químico y la toxicidad resultante de la exposición se compara con un valor de toxicidad crítica para ese compuesto. El valor de toxicidad crítica generalmente representa un nivel de exposición aceptable para el compuesto. Si el valor de toxicidad crítica se excede, las acciones de remediación de un sitio son inminentes.

El análisis de riesgo consta de tres principales criterios:

- La aditividad del nivel de peligrosidad para químicos que tienen efectos tóxicos similares (por ejemplo hemólisis de eritrocitos, daño nervioso o daño hepático).
- La aditividad del nivel de peligrosidad para exposición de un mismo compuesto encontrado en varias fuentes (por ejemplo agua, alimentos de origen vegetal y animal).
- Los efectos sinérgicos, que se refiere al nivel de peligrosidad de dos o más compuestos que es mayor cuando están juntos en comparación con la suma de los mismos compuestos por separado.

Las metodologías más interesantes son aquellas que consideran situaciones reales, como la presencia de mezclas de contaminantes tal como el petróleo y sus derivados, además de medios múltiples de exposición (suelo, agua, alimentos de origen vegetal y animal). La única que considera estos dos aspectos es la desarrollada por la EPA, en la cual la evaluación de la salud pública involucra el establecimiento de objetivos y la estimación de riesgo para alternativas de remediación, por lo que toma en cuenta los siguientes aspectos:

- La posibilidad de nuevas formas de exposición causadas por la remediación.
- La necesidad de indicadores químicos.

- ☉ Las concentraciones tóxicas son determinadas en los puntos de exposición.
- ☉ Las velocidades de liberación de contaminantes.
- ☉ El efecto de la remediación sobre la salud a corto plazo.
- ☉ La permanencia de contaminantes por el fracaso de una remediación.

Aparentemente en México se han difundido muy poco este tipo de metodología por lo que sería muy conveniente profundizar en ellas para entender la forma en que se establecen los límites permisibles.

### 3. En función del uso que se dará al suelo.

En esta opción se analizan las propiedades de un suelo de función de algún uso que se le vaya a dar, también se analiza si su contaminación es un riesgo para la salud de los habitantes aledaños a la zona. Lo más común es pensar que el suelo se va a utilizar como medio para el crecimiento de especies vegetales, aunque no necesariamente como una actividad económica, también se puede usar el uso el suelo como material estructural en una construcción.

### VI.3 DESCRIPCIÓN DE PROCESOS PARA LA REMEDIACIÓN.

El desarrollo de las tecnologías de remediación a nivel mundial, se inicio en los países desarrollados hace mas de 10 años. El interés se dio después de haber encontrado en los acuíferos que abastecen de agua a las poblaciones, residuos de compuestos considerados peligrosos en concentraciones que sobrepasaban los límites permitidos.

Con la finalidad de proteger la salud de la humanidad, los gobiernos de países desarrollados establecieron como una actividad prioritaria , la búsqueda de opciones para reducir los niveles de contaminación en suelos y acuíferos. En el caso de los Estados Unidos de Norteamérica, fueron la Agencia de Protección Ambiental y el Departamento de Energía, a través del Superfund (Acta Global de Respuesta, Compensación y Responsabilidad (CERCLA)).

Como parte de las acciones que tomo el Superfund con patrocinio de la EPA, en 1990 se realizo un proyecto para evaluar las tecnologías europeas mas exitosas e innovadoras donde se tenia un mayor avance. En la primera fase se identificaron 95 tecnologías innovadoras en uso o investigación se seleccionaron las mas prometedoras, mismas que se estudiaron en la siguiente fase del proyecto, finalmente en la tercera fase, se seleccionaron las mas exitosas tecnologías a gran escala que fueron extracción al vacío de un suelo contaminado con hidrocarburos, lavado in situ de un suelo contaminado con cadmio, arrastre con vapor in situ y otras tecnologías de biolabranza y lavado de suelo.

Las actividades de investigación en los Estados Unidos dieron origen a diversas tecnologías de remediación, todas ellas con diferentes bases de funcionamiento. Las que primero se desarrollaron fueron de tipo fisicoquímico, como la incineración, y la solidificación/estabilización. Posteriormente, surgieron otras innovadoras como la desorción térmica, la extracción del vapor, el lavado del suelo y las del tipo biológico. Otras tecnologías mas resientes fuero vitrificación, la encapsulación y el venteo seguido de condensación.

Existen en el mercado mundial, diversas tecnologías para remediación que ya se han comercializado. Debe tomarse en consideración que no todas las tecnologías son aplicables a todos los casos. para estar seguro de esto se deben realizar estudios de tratabilidad a nivel de laboratorio y de ser posible pruebas de demostración en campo.

Las tecnologías de remediación pueden aplicarse in situ o ex situ generalmente las tecnologías in situ se emplean cuando la contaminación ha alcanzado el nivel freático y se debe evitar que el bulbo de contaminación se extienda en todo el acuífero. Las tecnologías ex situ se utilizan cuando la contaminación se presenta solamente en la parte superficial del suelo.

A continuación se analiza, de una manera general, la base de funcionamiento de las diferentes tecnologías de remediación disponibles tratando de hacer énfasis a su aplicación en sitios contaminados con hidrocarburos del petróleo.

- 1 ) PROCESOS QUÍMICOS
- 2 ) PROCESOS BIOLÓGICOS
- 3 ) PROCESOS TÉRMICOS
- 4 ) OTROS PROCESOS

### **VI.3.1 PROCESOS QUÍMICOS DE ELIMINACIÓN DE ACEITE DE LOS RECORTES.**

Los recortes impregnados de lodo base aceite e hidrocarburos son altamente contaminantes y una manera de minimizar esa toxicidad es adicionarles productos químicos y procesarlos para su reacción, para obtener finalmente un producto inerte , que no produzca daño al medio ambiente, donde sean depositados.

#### **VI.3.1.1 ENCAPSULAMIENTO DE HIDROCARBUROS.**

La Encapsulación de Hidrocarburos es un proceso de tratamiento químico para solucionar la contaminación de los suelos con hidrocarburos. Esta tecnología es introducida a la industria petrolera partir de 1994 y tiene amplio reconocimiento siendo avalada entre otras por la EPA ( Environmental Protection Agency ), de los Estados Unidos de América.

Este proceso de tratamiento es el primer adelanto significativo que logra la estabilización e inmovilización e hidrocarburos en los suelos. Este proceso encapsula químicamente varios (y múltiples) hidrocarburos residuales a nivel molecular, convirtiéndolos en inofensivos para el medio ambiente.

El proceso ofrece ventajas substanciales sobre las otras tecnologías que remedian en grados menores la contaminación de los suelos por hidrocarburos:

1) La reacción química, la cual resulta en una cápsula de sílice orgánicamente inerte natural y no soluble, es una reacción instantánea que genera la encapsulación por este sílice amorfo de partículas de hidrocarburos en un rango de tamaño de 2 a 10 micras.

2) El Emulsificador y el Silicato Reactivo no son tóxicos y son de base agua. El tratamiento a los desechos peligrosos resulta en una microencapsulación permanente del material peligrosos en una celda de sílice que tiene un promedio de vida de 80 000 años. Los procesos de intemperismo como las nevadas y los deshielos, los cambios de humedad y los movimientos de la tierra no afectan la durabilidad de la partícula sílice.

3) El proceso del tratamiento cumple con los estándares BDAT (Best Demonstrated Available Technology) y los suelos tratados pueden permanecer en un sitio (EPA notice 54 FR 41566) eliminando el acarreo y otros procedimientos costosos.

4) El proceso es móvil y puede llevarse a todos los ámbitos así como dar tratamiento a cualquier tipo de suelo y volúmenes a tratar.

5) Este proceso da un costo/rendimiento por tonelada excelente y particularmente tendrá un costo efectivo al utilizarse como solución a los desechos peligrosos contenidos en las presas de perforación, presas de lodos base aceite, lodos de perforación, suelos y residuos en tanques o presas de desperdicio.

6) El tratamiento es efectivo para un rango muy amplio de hidrocarburos:

- |               |             |                         |
|---------------|-------------|-------------------------|
| ● Crudo       | ● Gasolinas | ● Alquitranes           |
| ● Lubricantes | ● Diesel    | ● Creosotas             |
| ● Turbosina   | ● Keroseno  | ● Residuos de Refinería |

### **VI.3.1.1.a Proceso del tratamiento.**

La metodología del Silicato Reactivo es un proceso de tratamiento en 2 etapas:

#### Emulsificar.

Emulsificar los materiales hidrocarburos.

#### Silicato Reactivo.

Se tiene una reacción química instantánea entre el Emulsificador y el Silicato Reactivo.

La reacción química resulta en la formación de sílice que encapsula los materiales hidrocarburos.

### **VI.3.1.2.b Proceso de emulsificación.**

Los emulsificadores son surfactantes biodegradables de formulaciones complejas. No contienen solventes o cualquier otro material ambientalmente peligroso.

La emulsificación involucra una interacción física compleja entre los emulsificadores, hidrocarburos y una capa acuosa. Para evaluar a los emulsificadores se utiliza el Balance Hidrofilico Lipofílico (HLB). Esto es el balance o la partición de los emulsificadores entre aceite y agua. Cada hidrocarburo tiene un valor específico de HLB al cual emulsificación es óptima.

Para emulsificar una sola especie química (por ejemplo tolueno) se podrá usar un surfactante o emulsificador con el HLB correcto.

Cada uno de estos químicos individuales se emulsificará mejor a un valor e HLB muy específico tal como se indicó.

### VI.3.1.3.c Proceso de encapsulación.

La aplicación del Silicato Reactivo al aceite emulsificado produce una reacción química instantánea con el Emulsificador. Esta reacción química forma sílice puro, el cual es amorfo (estable) y no soluble.

El resultado es una celda de sílice sólida con un interior de forma de panal muy complejo.

El material hidrocarburo del tamaño abajo de una micra queda atrapado permanentemente dentro de la celda de sílice.

Esta tecnología es un proceso químico, y es indicativo de cualquier proceso químico su uniformidad y su predictibilidad. El proceso químico es una simple reacción ácido-base.

El Emulsificador y la solución de Silicato Reactivo se combinan en una reacción química. La creación del sílice amorfo no soluble encierra la microgota del material hidrocarburo.

La estructura única de la celda de sílice es responsable de la inmovilización del material hidrocarburo. Esta tiene las siguientes características:

#### Sílice Amorfo.

No soluble, sus principios de ingeniería han sido aceptados por siglos en un vasto campo de aplicaciones y condiciones. Los científicos tienen experiencia física abundante con arena y han probado que es eterna. El sílice amorfo no es propenso a la fractura o al clivaje.

#### Estructura Sólida.

La partícula de arena es un material estructuralmente sólido, de aquí su alto grado de durabilidad.



### Tamaño de Partícula Optimo.

El tamaño de partículas menor a dos tiene alta resistencia a la degradación mecánica (presión vs. unidad de área) y no interfiere con los ecosistemas.

### Impermeable.

Las superficies lisas evitan que los elementos agresivo entren a la partícula.

### Interior de Panal.

El interior complejo de laberinto de la partícula evita que el aceite escape, aun bajo mediciones de prueba destructivas, se ha demostrado su integridad estructural.

## **VI.3.1.4.d Estabilización-Inmovilización.**

Estabilización-inmovilización es un termino estándar usado por la industria. EPA y otros reguladores para categorizar un rango de técnicas de remedio las cuales estabilizan, solidifican o inmovilización los contaminantes en los suelos.

En mayor de 1991. EPA publicó una noticia (56 FR-2443-24465) la cual describe la posición de la agencia sobre las ultimas revisiones para tratamientos estándares existentes. Específicamente la definición de tecnología de inmovilización ha sido ampliada para incluir encapsulación.

## **VI.3.1.5.e Estabilización Convencional-Macro Inmovilización.**

Los procesos de estabilización convencional usan adherentes o ligantes como el cemento, cenizas arcillas y polvo de horno para tratar desechos peligrosos. Esencialmente estos métodos resultan en la macro-inmovilización de los contaminantes en el material huésped (los suelos por ejemplo) al cual los contaminan atacan. Típicamente se emplean los materiales puzolanicos y

cementantes en grandes cantidades con silicatos solubles (los silicatos incrementan la velocidad de cura de los materiales cementantes para formar una matriz sólida en el suelo. Esta macro encapsulación del material huésped o receptor simplemente reduce la movilidad del contaminante y no encapsula directamente al contaminante.

Relativo a la encapsulación de hidrocarburos (los cuales son inherentemente móviles) las técnicas convencionales de estabilización-inmovilización tiene limitada efectividad y durabilidad. Un enfoque ha sido el utilizar estabilizadores orgánicos para inmovilizar materiales orgánicos dentro de una matriz de cemento, sin embargo, esto ha probado ser inherentemente inestable.

#### **VI.3.1.6.f Micro-Encapsulación.**

La tecnología de la microencapsulación inorgánica ha capturado el interés de la EPA y de la industria con respecto al tratamiento de hidrocarburos. Los suelos tratados se convierten en no peligrosos y pueden permanecer en su sitio (EPA Notice 54 FR 41566).

El advenimiento de esta tecnología ha superado con éxito las fallas inherentes a las técnicas de estabilización/fijación con puzolánicos-cementantes.

1) La tecnología resulta en la microencapsulación de los contaminantes hidrocarburos (no del material receptor).

2) El proceso de microencapsulación encierra permanentemente al contaminante en una matriz de sílice amorfo (particularmente de arena) no soluble. Esta matriz de arena sílica evita que los hidrocarburos reaccionen, o estén activos químicamente o se presente lixiviación. A diferencia de los materiales cementantes los cuales son altamente reactivos y se rompen en periodos relativamente cortos y son susceptibles a la degradación ambiental (por ejemplo deshielos, nevadas, etc.), la matriz de sílice no es permeable, resistente al medio ambiente y a las reacciones químicas.

3) La microencapsulación no interfiere con la porosidad o con la permeabilidad de los suelos, aspectos importantes al considerar las filtraciones

del agua. Adicionalmente, el proceso no produce volúmenes significativamente grandes al suelo, normalmente menor al 1%.

4) Se aplica a un rango muy amplio de hidrocarburos y han probado ser efectivo con contaminantes altamente móviles (incluyendo hidrocarburos clorados) con hidrocarburos mezclados y con contaminantes de metales pesados. Los suelos tratados se convierten en no peligrosos.

5) El proceso de tratamiento es virtualmente instantáneo, y por medio de los análisis correspondientes se asegurara que se ha efectuado la encapsulación permanente de los hidrocarburos. En la utilización de materiales cementantes el tiempo de cura es variable y en muchas ocasiones no hay efectividad.

6) La química básica es el encapsulado de un material orgánico por un material inorgánico. Este enfoque es único y fundamental para la química estable, particularmente con hidrocarburos orgánicos.

#### **VI.3.1.7.g Clasificación Expandida de Tecnologías de Tratamiento.**

Con relación a los suelos contaminados, la EPA ha revisado y expandido la definición de tres tecnologías de tratamiento:

##### 1. Destrucción

##### 2. Extracción

##### 3. Inmovilización.

En la definición revisada de tecnologías de inmovilización se incluyen la Encapsulación y el sellado químico.

" IMMBL (Inmovilización) significa el uso de una tecnología de inmovilización (como por ejemplo encapsulación, estabilización, etc..) con suficiente tiempo de curado, y los químicos apropiados se ha reducido significativamente la movilidad de la mayoría de los contaminantes peligrosos RCRA".

Cuando EPA desarrollo un tratamiento estándar para un desecho en particular, prefirieron emitir un estándar basado en concentración. En esencia, la agencia identifica un proceso de tratamiento el cual pensaron representa la mejor Tecnología Demostrable (BDAT). Entonces procesaron los desechos usando esta tecnología y la concentración de cualquier constituyente peligroso en los residuos del tratamiento se convierte en el estándar del tratamiento basado en la concentración.

La bibliografía técnica documenta el éxito de la microencapsulación de hidrocarburos (RCRA contaminantes peligrosos) bajo los estándares regulatorios basados en la concentración.

#### **VI.3.1.8.h Proceso Químico.**

El proceso es una reacción ácido base.

El Emulsificador es el componente ácido. El Silicato Reactivo provee el componente alcalino (base). La reacción química produce agua, sílice amorfo y trazas de sal.

#### **VI.3.1.9. CARACTERIZACIÓN DE LA CELDA SÍLICE.**

Las técnicas analíticas y los métodos de análisis ópticos son empleados para evaluar las características morfológicas (estructurales) de la matriz de la celda sílice. La celda sílice formada alrededor del material hidrocarburo se encontró como partículas discretas de aproximadamente dos micras en tamaño. El análisis de sílice ilustra que mas del 99% del material amorfo estaba compuesto enteramente de  $\text{SiO}_2$ . El interior de la celda sílica, una matriz sólida, es realmente un sistema de canales con la forma de panal, y en cada panal una microgota de hidrocarburo. El material hidrocarburo es atrapado dentro de esta estructura de sílice.

El tiempo de vida de la celda de sílice se atribuye a:

- Composición amorfa (no cristalina).

- ☉ La celda de sílice es un material sólido lo cual da un alto grado de resistencia a la degradación física.
- ☉ La celda de sílice tiene un interior en forma de laberinto lo que evita que se presenta lixiviación.
- ☉ La celda de sílice tiene una superficie lisa, no porosa, impermeable, lo que asegura que el hidrocarburo no saldrá de ella o que el agua de los suelos no entrara a la celda.

#### VI.3.1.9.a Características Químicas del Exterior de la Celda de Sílice.

El componente químico de la celda de sílice es el  $\text{SiO}_2$  con trazas de cloruro de potasio.

Para analizar una sola celda sílice y determinar las características y sus composición química, se emplean diversas técnicas:

1. La exploración por Microscopía Electrónica se emplea para examinar las características de la superficie de cada celda sílice.
2. Conjuntamente se emplea la técnica de Análisis de Energía Dispersa Rayos X que mide la intensidad de los rayos X reflejados por un área muy pequeña; se analizaron áreas particulares de la superficie de la celda de sílice. Estas técnicas se verifica que la celda sílice es de  $\text{SiO}_2$  y no hay elementos solubles o de otro tipo en la estructura que forma la celda sílice.
3. Para analizar una sección transversal de la celda se emplean 2 métodos:
  - a) La Transmisión Electrónica por Microscopía conjuntamente con la Técnica de Energía Dispersa Rayos X permitieron penetrar por abajo de la superficie de la celda de sílice para ilustrar con detalle su interior. El análisis de Energía Dispersa confirmo la composición:  $\text{SiO}_2$ .
  - b) Con la ayuda de una navaja de diamante y un ultra-microtomo se obturó una sección transversal de la celda de sílice.

Esta sección transversal se analizó con los procedimientos anteriores de TEM y de EDRX con idénticos resultados, lo que confirmó la presencia de  $\text{SiO}_2$ .

Estos procedimientos analíticos confirman que el Emulsificador y el Silicato Reactivo reaccionan para producir una matriz de sílice completa. Los elementos traza de cloruro de potasio, es el único producto intermedio de la reacción química, y este no forma parte de la celda de sílice.

#### **VI.3.1.9.b Estructura Cristalina.**

La configuración normal de la materia sólida es de un cristal. Los cristales tienen formas características debido al arreglo organizado de sus átomos o moléculas. Los cristales tienen superficies planas y ángulos definidos. Son estas características lo que hacen que un cristal sea más soluble en agua y más susceptible a romperse o astillarse.

Un material amorfo es aquel en que sus moléculas están unidas en una manera completamente casual en una matriz de tres dimensiones. Este agrupamiento desordenado hace al material fuerte y flexible. Esta combinación asegura que el material amorfo no se romperá o astillará. Este tipo de estructura es menos susceptible a la penetración del agua o a la penetración del agua o a las reacciones de solubilidad y de aquí, la benéfica resistencia a la no solubilidad inherente a los materiales amorfos.

En suma, la matriz amorfa de la celda de sílice da la inherente resistencia a la solubilidad y características físicas más durables que con llevan a un grado significativo de no lixiviación y a una vida extremadamente larga.

#### **VI.3.1.9.c Análisis de la Estructura Amorfa.**

Para cuantificar la durabilidad y la larga vida de una celda de sílice, se emplearon dos procedimientos analíticos:

a) Se examinó la celda con y sin hidrocarburo encapsulado utilizando un microscopio y luz polarizada. Bajo la luz polarizada, las partículas de cristal aparecen brillantes o blancas, mientras que los materiales amorfos se observan completamente oscuros.

Menos del 0.1% del material examinado con esta técnica estructura cristalina, la gran mayoría (mayor al 99%) mostró ser amorfo.

b) El análisis de difracción de rayos es utilizada para determinar los tipos diferentes de cristales encontrados en esta sustancia. El difractograma confirmó que las celdas de sílice es mayor al 99% amorfa. La cantidad en trazas del material cristalino se identificó como silvita (un cristal de cloruro de potasio) formado como un subproducto de la reacción.

#### **VI.3.1.9.d Características de Químicas del Interior de la Celda de Sílice.**

Para conocer el interior de la celda de sílice se corta en secciones delgadas utilizando la navaja de diamante y el ultra microtomo. luego se uso la Transmisión Electrónica por Microscopía (TEM) bajo un aumento de 15 000 X.

La relación entre el sólido y el microespacio es más evidente al incrementar el aumento hasta 60 000 X.

Para ilustrar el patrón de microespacios, el aumento de fotomicrografía TEM se sujeto a un realce con imágenes de computadora. Este realce por computadora ilustra un arreglo complejo en forma de panal de los microespacios, en el arreglo tridimensional, se observa como los microespacios mantienen el material hidrocarburo permanentemente atrapado ya que los microespacios forman un laberinto sin salida.

#### **VI.3.1.9.e Estudios de Fijación de Osmio.**

Este estudio ilustra que los hidrocarburos son realmente encapsulados dentro de la celda sílice. El proceso no cambia o altera los hidrocarburos, por lo que los aceites usados en este estudio deberán seguir en estado líquido al ser encapsulado.

El aceite expuesto al vacío extremadamente alto de un Microscopio de Tratamiento Electrónica (TEM) de 10-6 torrs se hace muy volátil. Para vencer este problema, se empleo la reacción entre aceites insaturados y vapor de osmio. Cuando los aceites insaturados se exponen al tetraóxido de osmio (OSO<sub>4</sub>) se fijan o se solidifican.

Se expusieron a estos vapores secciones delgadas de celda sílice con y sin aceites no saturados encapsulados, y los resultados se evaluaron por el método TEM.

#### **VI.3.1.10 Caracterización Química-Sumario y Conclusiones.**

El programa de análisis de caracterización química evidencia dos grandes beneficios que otorga la celda sílice:

##### 1. Resistencia.

El sílice amorfo es una matriz sólida, comparable a un grano de arena el cual tiene la característica de ser muy duro, resistente y tiene una vida extremadamente larga.

##### 2. No lixiviación.

El interior de la celda sílice contiene material hidrocarburo encapsulado dentro e estos microespacios; combinado con una superficie no porosa y no permeable, la lixiviación no se presentará.

Estos dos grandes beneficios dan como resultado un procedimiento que garantiza el aislamiento de un residuo peligroso del medio ambiente sin la producción de otros residuos peligrosos durante o como resultado de este procedimiento de encapsulación. El producto final  $\text{SiO}_2$  es el compuesto más abundante en la naturaleza.

#### **VI.3.1.2 Proceso de solidificación.**

Los recortes junto con los fluidos de perforación, son mezclados con al algún subproducto del acero, constituido principalmente por silicato, aluminosilicatos de calcio, magnesio y otras bases, para obtener un material de características cementantes y poder utilizarlo en las cementaciones de las tuberías de revestimiento en los pozos petroleros; esta mezcla da una lechada de excelentes propiedades reológicas lo que permite un fácil desplazamiento sin requerimiento de equipo especial y altas presiones de bombeo. Esta mezcla a



diferencia de los cementos es que soporta mayores presiones y temperaturas, además de disponer del material del mismo pozo.

A esta lechada se le agregan aditivos como son óxidos de calcio, hidróxidos de sodio y soda ash, que actúan como activadores en el proceso de solidificación, esto es aceleradores de fraguado o bien lignosulfonatos cuya acción es disminuir la viscosidad y fungir como retardadores de fraguado. Este proceso ha sido aplicado en varios pozos en la costa del golfo del área sur de Estados Unidos de América, como una alternativa de disposición de desechos de la perforación, pero a un no ha sido cuantificado su diseño, evaluado la mezcla en procesos similares a las pruebas que deben cumplir los cementos empleados en la industria y evaluados por el API.

### **VI.3.1.3 Estabilización y disposición de recortes en un confinamiento.**

El procedimiento de disposición, consiste de un tratamiento previo del desecho, intentando estabilizar en un proceso de fijación-solidificación, mezclando el desecho con un absorbente, se utiliza el termino fijación-solidificación por que el absorbente además de solidificar el desecho, con la adición de cal común, se genera una reacción química que ocasiona la inmovilización del agua contenida y de otros componentes peligrosos, la alta alcalinidad presentada provoca que se precipiten la mayoría de los metales reduciendo la posibilidad de migración ya estando en el confinamiento.

Una vez ya estabilizados los recortes se mandan a un depósito de confinamiento como los existentes en el estado de Nuevo León y San Luis Potosí, que son propiedad de la iniciativa privada y son las encargadas de dar el proceso de estabilización a los desechos, que puede ser aplicado en el lugar donde se generan para no tener problemas al ser transportados o bien donde se encuentra el deposito de confinamiento. No existe limite de volumen de recortes impregnados de fluidos aceitosos, para ser dispuestos en el confinamiento, además de ser un servicio integral ya que incluye transporte, tratamiento y disposición por lo que se pueden confinar los recortes de equipos terrestres y marinos. El confinamiento no es la mejor manera de eliminar los desechos, ya que solamente se guarda, además de que no deja de existir la responsabilidad legal de los desechos por parte del que los genera; estos confinamientos tienden a desaparecer ya que los reglamentos y leyes cada día son más estrictas.

## VI.4 PROCESOS BIOLÓGICOS PARA LA DESCONTAMINACIÓN DE RECORTES.

El uso de lodos base aceite se hace necesario para perforar algunas formaciones, ya que los lodos base agua no desarrollan las mismas cualidades para perforar determinadas etapas. por lo que es necesario perforar con los primeros para elevar los estándares de eficiencia.

Un proceso que se mantiene en estudio para la eliminación del aceite del recorte es por medio de la acción microbiológica, esto con ayuda de bacterias previamente seleccionadas. Estos estudios se mantienen a nivel laboratorio, logrando eliminar el 90% de la contaminación de los recortes, esto indica que aportaría resultados óptimos para cumplir con las normas de contaminación en recortes de perforación. Se ha demostrado en la práctica y en el laboratorio que la degradación bacterial *In situ* del aceite en los recortes es posible, pero esta degradación solo se da en capas aeradas superficiales de la pila de los recortes; la velocidad de la degradación del aceite se incrementa con la adición de aditivos minerales y por otro lado se reduce si no se estimula artificialmente la reproducción de las bacterias, sin embargo los experimentos han demostrado los beneficios de dosificar la población de bacterias.(fig VI.1)

La bacteria que se ha escogido como la mas viable es la *innoculum*, *alpha* biosea, misma que se encuentra en estado natural en el polvo de almidón. Esta bacteria ha demostrado que puede remover el 72.5% del contenido de aceite los recortes en un periodo de incubación de 24 hrs. con cultivos de bacterias especialmente seleccionadas, otro experimentos reportan que la eliminación de aceite puede ser de hasta 90% en un periodo de incubación de 48 hrs. La descontaminación de los recortes impregnados de aceite por medio de bacterias es una técnica viable, pero son dos factores críticos para que se pueda aplicar a la limpieza de los recortes, primero: se debe demostrar que la bacteria efectivamente degrada el aceite sin generar productos tóxicos, segundo. la velocidad de degradación debe ser suficiente para que la técnica tenga aplicación. Hasta el momento la inversión que se ha tenido en investigación y equipo ha sido costosa, su aplicación se ha dado en el laboratorio y se desconocen los efectos posteriores por el uso de este sistema, por esto, las compañías perforadoras no han aplicado esta técnica; además de requerirse todavía más estudios para alcanzar los volúmenes de tratamiento requeridos, así como de los mecanismos de control y estimulación de otros tipos de cultivos.

Esta técnica tendrá que esperar hasta que el proceso sea optimizado y pueda ser aplicado en el campo.

TRATAMIENTO IN SITU

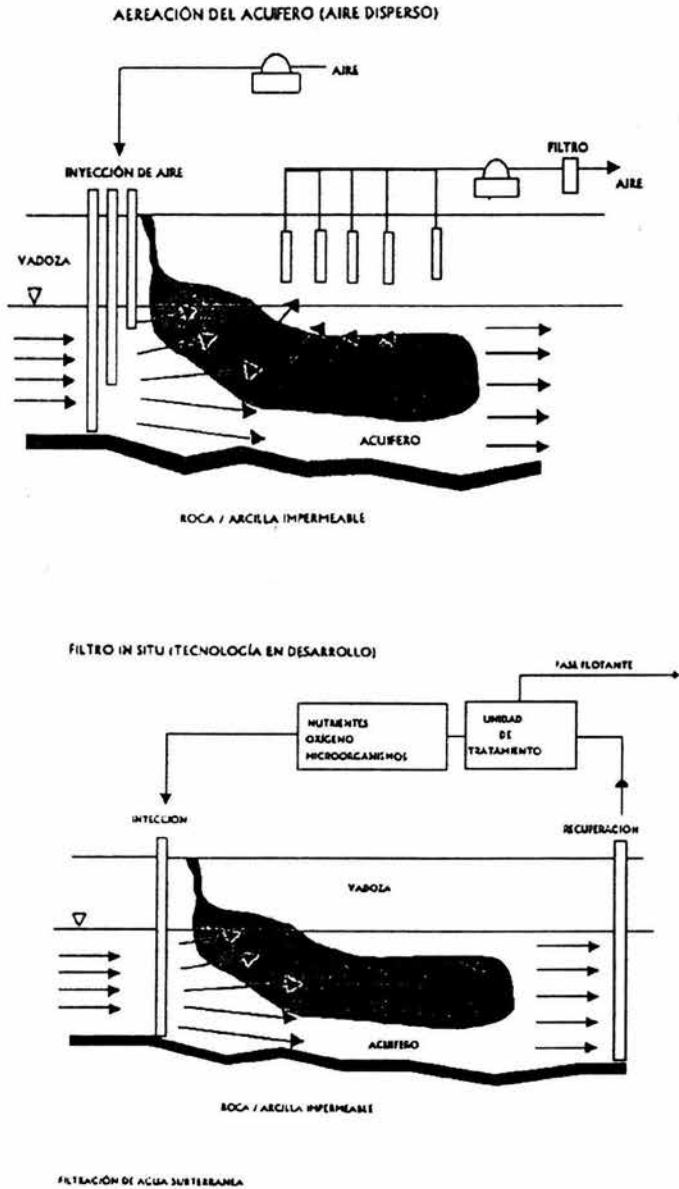


Fig. VI.1 Tratamiento In-situ

### VI.4.1 Biorremediación.

La presencia prolongada de los contaminantes en los suelos ha ocasionado que muchas bacterias ahí presentes han desarrollado la capacidad bioquímica para degradarlos. Esta capacidad es precisamente la base de las tecnologías de biorremediación, que los últimos años han surgido como una alternativa muy atractiva para la limpieza de suelos y acuíferos. Una de las principales características de la biorremediación es que los contaminantes realmente se pueden transformar en compuestos inocuos al ambiente y no solamente se transfieren del lugar.

Por lo que respecta a las técnicas de base microbiología, inicialmente se aplicaron el composteo y biolabranza (land-farming), así como el uso de reactores con cepas puras de bacterias degradadoras combinado con el de bombeo e inyección de aguas subterránea a través de pozos. Posteriormente, se aplicaron otras técnicas innovadoras como la bioestimulación y el bioventeo. La diferencia entre las diferentes tecnologías de biorremediación se pueden apreciar en la tabla VI.1

**Tabla VI.1 Funcionamiento de las diferentes tecnologías de biorremediación.**

Tecnología	Base funcionamiento
Bioestimulación	Adición de nutrientes para estimular la actividad de las bacterias nativas.
Bioaumentación	Adición de bacterias previamente seleccionadas por su capacidad para degradar contaminantes.
Bioventeo	Suministro de aire para estimular la actividad de las bacterias nativas.
Biolabranza	El suelo se extiende en una capa de tamaño regular y se revuelve periódicamente.

En general, las ventajas de las tecnologías de biorremediación son:

- Los contaminantes son realmente transformados y algunos completamente biodegradados.
- Se utilizan bacterias cuyo hábitat natural es el suelo, sin introducir otras potencialmente peligrosas.
- Es una tecnología segura y económica;
- El suelo puede ser reutilizado;
- Las bacterias mueren cuando los nutrientes y los contaminantes orgánicos se agotan.

Entre las desventajas de la biorremediación están:

- Que las bacterias pueden inhibirse por la presencia de tóxicos o altas concentraciones de contaminantes.
- El proceso no tiene éxito en suelos de baja permeabilidad.
- Algunos aditivos como los surfactantes pueden tener efecto adverso en aplicaciones in situ.
- Requiere largos periodos de tiempo.
- No es aplicable en sitios con muy altas concentraciones de hidrocarburos altamente halogenados, metales y desechos radioactivos.

Para los procesos ex situ se prefiere utilizar aditivos con actividad de superficie conocidos comúnmente como surfactantes. Dado que los hidrocarburos del petróleo son insolubles en agua, la función de los surfactantes es favorecer su solubilidad y hacerlos con ello más susceptibles de ser degradados por los microorganismos. Los surfactantes pueden ser sintéticos o de origen biológico, estos últimos tienen la ventaja de ser biodegradables por los mismos microorganismos del suelo, por lo que son preferidos sobre los primeros.

#### **VI.4.2 Biolabranza.**

El tratamiento biológico de sólidos en lugar utiliza sistemas extensos de aeración para la reducción y la extracción de contaminantes orgánicos degradables biológicamente. Estos incluyen la degradación biológica natural de hidrocarburos, la que se consigue con la mezcla constante, el cultivo con arado rotatorio y la rotación de los sólidos contaminados para promover mayor aeración. Esta técnica se usa con el permiso de las autoridades para tratar las virutas de los pozos que hayan sido perforados con lodos a base de petróleos.

Aproximadamente el 90% o mas de los materiales orgánicos son extraídos y convertidos ya sea en ácido carbónico y agua, o en sólidos biológicos nuevos.

Bajo circunstancias ideales la aeración extendida continuara a oxidizar la masa de fango para convertirla en ácido carbónico y agua para que no quede una acumulación neta de fango. No obstante, por experiencia se sabe que aproximadamente el 25% de los sólidos biológicos producidos son inertes a la oxidación biológica y por lo tanto se acumulan en el sistema. El exceso de fango se recoge, se desagua y luego de pasar las pruebas de clasificación, generalmente queda apropiado para relleno industrial.

- El tipo de tratamiento biológico es generalmente es específico al lugar y al tipo de desperdicio.
- Los tratamientos biológicos tienen que ser controlados de cerca para mantener la eficiencia.

#### **VI.4.3 Bioaumentación.**

La bioaumentación comprende una variedad de métodos de tratamiento que utiliza la actividad de microorganismos que absorben a los contaminantes que se encuentran en aguas, suelo, o en componentes de diferentes productos contaminados. El termino bioaumentación se usa a veces cuando se refiere al termino de tierras contaminadas. En el tratamiento de tierras contaminadas de petróleos, derrames, tanques de almacenamiento subterráneo etc., la cantidad de microorganismos que ocurren naturalmente en la tierra generalmente no dan abasto para la descomposición de los altos niveles de hidrocarburos dentro de

un periodo económico. Hay varios factores ecológicos, tales como la temperatura y la oxigenación, que influyen los niveles de microorganismos y sus actividades y dependiendo de las condiciones del lugar, requieren refuerzo para cumplir con su objetivo. La bioaumentación implementa una selección de tipos de microorganismos que ocurren naturalmente, los cuales están adaptados específicamente a la tarea de descomponer a los hidrocarburos en la tierra contaminada.

El generador tiene la responsabilidad de asegurar que un desecho en particular sea adecuado par el proceso de bioremediación y que el proceso se lleve a cabo de una manera aceptable al medio ambiente. Hay que asegurar:

- Que el desperdicio no contenga componentes que limiten o nieguen el proceso biológico.
- Que el desperdicio no contenga altos niveles de metales pesados que puedan interferir con los procesos metabólicos de la bacteria.
- Que los requisitos suplementarios de nutrientes se definan y puedan ser suplidos durante el proceso.
- Que el producto que resulte del proceso de bioaumentación sea adecuado para ser reintroducido al medio ambiente.
- Asegurarse que el lugar donde se va a llevar a cabo la bioaumentación, si es que va a ser "in situ", este protegido y que no haya contaminación de agua de superficie ni subterránea durante el proceso.
- Mantener actas precisas del tipo, cantidad y nivel de contaminación del desperdicio a tratar.

La bioaumentación in situ no debe tomarse como un método fácil y barato para deshacerse de sólidos. Este proceso puede ser difícil de controlar e implementar para asegurar resultados satisfactorios.

La bioaumentación in situ debe considerarse solamente después de haberse llevado a cabo los análisis geotécnicos y hidrogeológicos adecuados del lugar. También deben considerarse análisis químicos y microbiológicos.

## **VI.5 PROCESOS TÉRMICOS DE ELIMINACIÓN DE ACEITE DE LOS RECORTES.**

El aceite utilizado en la conformación de los fluidos base aceite puede ser separado de los recortes por medio de la aplicación de calor; se introducen los recortes contaminados en una cámara ( un secador, incinerados u otro equipo ) y mediante altas temperaturas separar los contaminantes, en especial hidrocarburos que contengan los recortes de formación incinerando y volatilizándolo, para que por un lado se extraiga el contaminante y por el otro el recorte libre de este.

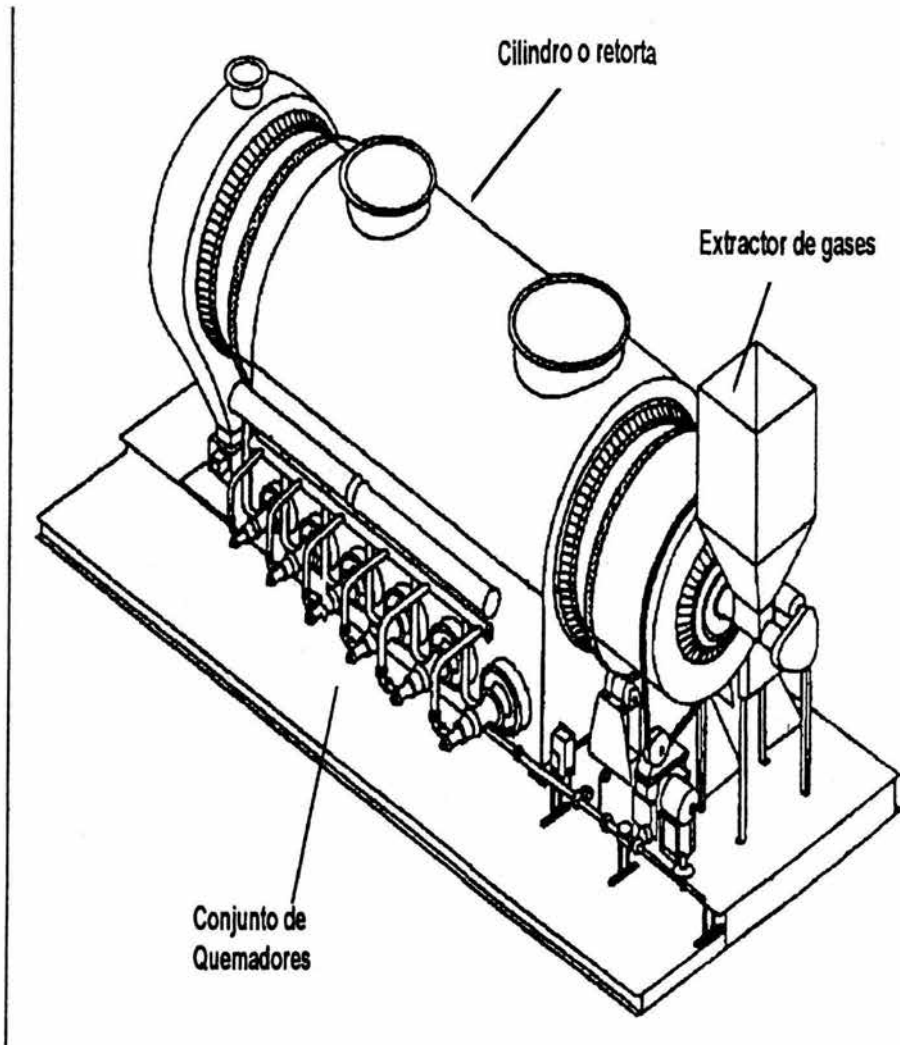
Para la limpieza de los recortes se presentan dos procesos, los cuales actualmente se encuentran en aplicación y su uso ha sido probado exitosamente tanto técnica como económica.

### **VI.5.1 Retorta Térmica.**

El proceso de retorta térmica basa su principio de acción en el comportamiento de sólidos impregnados de aceites y otros fluidos con el fenómeno de transferencia de calor en un continuo movimiento, se ha empleado con resultados muy aceptables. La retorta térmica es un cilindro calentado a base de quemadores externos, los recortes impregnados de aceite se introducen por medio de un embudo ( fig. VI.2 ) y se hacen circular a través del cilindro y conforme avanza la temperatura se incrementa hasta vaporizar todos los líquidos, los gases producidos en este proceso son eliminados mediante un barrido de nitrógeno con vapor de agua y lo extraído del sistema son condensados. Los recortes y sales que no se vaporizan se descargan por la parte inferior del cilindro, los cuales su porcentaje de contenido de aceite es nulo o mínimo.

Los vapores eliminados entran a un sistema de recuperación, se condensa cierta cantidad de ellos y el líquido obtenido puede ser utilizado como combustible del mismo sistema, los demás vapores son dirigidos a un extractor donde son eliminados. Al inicio del proceso, la temperatura en el interior del cilindro se estabiliza a 315°C, se introducen los recortes y se eleva paulatinamente la temperatura hasta llegar a los 650 °C, la temperatura tendrá que estar bajo un monitoreo constante, para así asegurar que se alcanzan los puntos de vaporización de cada fluido que impregna los recortes.





**Fig. VI.2 Retorta térmica**

Conforme los recortes son alimentados, el agua y el aceite asociados se secan y forman una pasta viscosa y pegajosa, la cual se adhiere a las paredes interiores del cilindro y forma un enjarre, que puede funcionar como aislante del calor disminuyendo la transferencia del mismo y por consiguiente la efectividad del proceso, por lo que se hace necesaria su remoción de manera continua.

La compañía AMOCO realizó una evaluación práctica y demostró que manteniendo la temperatura de operación a  $430\text{ }^{\circ}\text{C}$ , el producto del proceso (Recortes limpios), cumplirá satisfactoriamente los requerimientos estipulados por las Normas nacionales e internacionales, por lo que en los equipos empleados en la industria se tienen menos de 10g de aceite por kg. de recorte. La retorta térmica tiene la capacidad de procesar 15 Tn / hr de material y sus dimensiones son: 1.78 m. de coraza, 6.4 m. de longitud de horno, haciendo que la unidad tenga unas dimensiones aproximadas de 2.44 por 9.14 m., además de poder mantener una temperatura constante de operación de  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ , obteniendo como ya se menciona 10 gr. de aceite por cada kg. de material; por estas características se hace factible su empleo en equipos terrestres y marinos.

### VI.5.2 Proceso Torbed

El principio de acción del proceso torbed es una transferencia de masa y calor, volatilizando al aceite que se encuentra contenido en los recortes de perforación, ha sido probada exitosamente en la industria petrolera, para ser empleado como sistema de tratamiento de recortes contaminantes (fig VI.3).

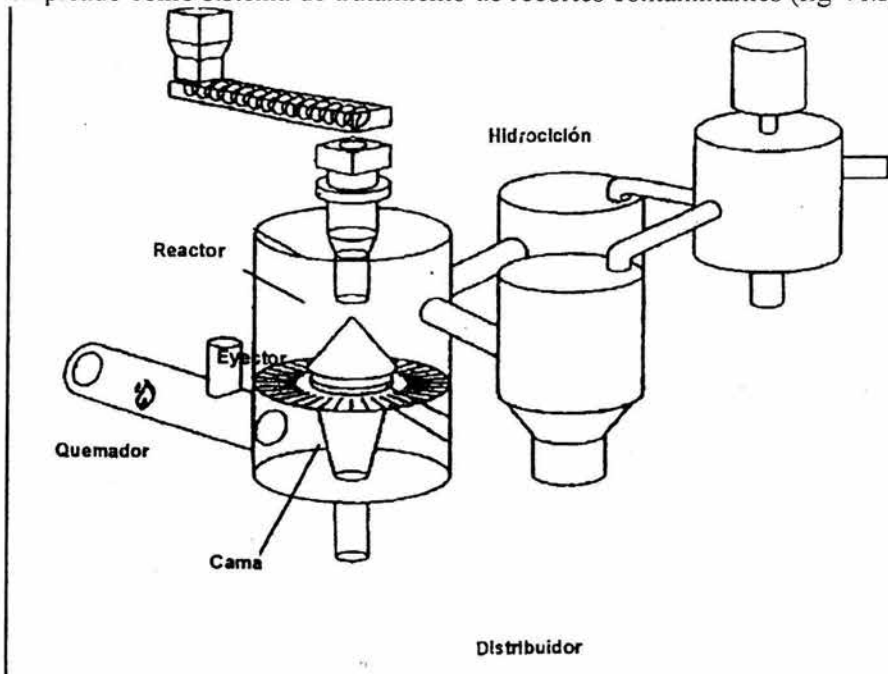


Fig. VI.3 Proceso Torbed

Los recortes son almacenados en un tanque, donde son homogeneizados y de ser necesario se les agrega cierta cantidad de aceite, para poder bombeados, esta mezcla es enviada aun reactor, tras previo cernido en una malla de 15mm que permite eliminar la basura y material demasiado grande; una ves en el reactor es repartido en la cámara interna por medio de un disco distribuidor, donde se ponen en contacto los recortes con una serie de placas, que forman una cama de recortes, se hace circular vapor sobre calentado a una temperatura de 750 °C, que volatiliza los hidrocarburos contenidos en los recortes.

El vapor sobre calentado se genera por medio de un quemador y es guiado por eyectores venturi, que controlan la velocidad de flujo para garantizar la temperatura de operación. En caso de darse un paro momentáneo el equipo deberá mantener una temperatura de 400°C para mantener la continuidad de la operación sin llegar a suspender el proceso.

Los sólidos limpios, extraídos del reactor se manejan en dos grupos, que es la fracción de los gruesos ( > 150 micrones ), es dirigida a la parte central del reactor y sale por uno de los cuatro puerto que ahí se tienen, la fracción de fino ( < 150 micrones ), salen por la parte superior del reactor mediante un tubo de descarga a un hidrocyclon, que elimina de estos el contenido de fluidos, que todavía puedan tener, para que finalmente se junten con los gruesos en el mismo depósito, el cual contiene un asreador que arroja agua para enfriarlos y evitar a su vez emisión de polvos.

El gas que emite el reactor, el cual es una mezcla de productos de combustión, vapor de agua y aceite volatilizado, pasa a través de un depurador que con agua de enfriamiento condensa y reduce la temperatura a niveles inferiores de 50 C. El liquido condensado se bombea a un separador agua-aceite de una etapa. El aceite es recolectado y enviado a un tanque de almacén, mientras que el agua es enfriada y reciclada al depurador para usarse en la condensación.

Durante el proceso son generados sedimentos en el fondo del depósito de aceite el cual deberá ser eliminado en forma periódica. Los gases emitidos por el depurador son extraídos y emitidos al medio ambiente.

Las características de diseño del equipo empleado contempla: peso, dimensiones, uso de líneas refractarias, seguridad y alimentación, descarga y recuperado de recortes.

Debido a sus dimensiones (casi 10 m de altura, ocupando un área de unos 12 m ) no es factible su instalación en plataformas marinas de perforación, sin pensar en un barco de asistencia o instalación especial, por lo que su empleo se enfoca a un procesamiento en instalaciones terrestres como planta de tratamiento.

Esta tecnología puede procesar a un ritmo de 10 ton/hr de recortes aceitosos, aportando una eficiencia de eliminación de más del 99.7% del aceite contenido siempre y cuando se mantenga en condiciones de operación efectivas.

## **VI.6 OTROS PROCESOS DE DESCONTAMINACION DE RECORTES.**

### **VI.6.1 Arrastre por aire ( air stripping).**

Esta tecnología se aplica a contaminantes volátiles presentes en el agua subterránea. El aire se inyecta a profundidad y la recuperación de los contaminantes se realiza en una torre empacada o en un tanque de aeración y requiere acoplarse a otro tipo de proceso para recuperar o destruir los contaminantes retirados del sitio. Esta tecnología es muy empleada por su efectividad y tiene su ventaja de tener un bajo costo de operación. Las desventajas son:

- Uso limitado a compuesto volátiles.
- Generación de ruido.
- Los contaminantes no se destruyen por lo que requiere acoplarse a otro tipo de tecnología.

### **VI.6.2 Extracción al vacío.**

Este tipo de tecnología se aplica solamente para la extracción de compuestos volátiles, por lo que no es una opción recomendable para la remediación de suelos contaminados con petróleo, pero si es atractiva para manchas superficiales de gasolina. Sobre la zona afectada se colocan cubiertas que permiten captar los gases extraídos. Este proceso requiere ser acoplado a otro para eliminar los contaminantes o bien recuperarlos y reciclarlos.

### **VI.6.3 Lavado de suelo.**

Esta tecnología se utiliza solamente para procesos de ex situ. Con en suelo contaminado se construyen pilas las cuales se bañan con solventes orgánicos o mezclas de ellos, puede permitirse una recirculación para optimizar el uso del solvente. Tanto los solventes como los hidrocarburos pueden separarse y reciclarse, sin embargo, implica un gasto importante de solventes, un costo de separación de éstos y un alto riesgo de explosión.

#### **VI.6.4 Desorción Térmica.**

El proceso se realiza ex situ, el suelo contaminado se introduce al sistema con ayuda de un tornillo sinfín y se aplica temperatura para que los contaminantes vayan desorbiéndose y puedan recuperarse de manera similar a una destilación. La desorción térmica tiene un menor costo que la incineración, el tiempo de tratamiento depende de las características del suelo y del contaminante, además tiene la ventaja de que el suelo puede ser reutilizado. Sin embargo, no es una alternativa recomendable para suelos contaminados con hidrocarburos, ya que conforme va aumentando la temperatura del material, se hace más duro y no se logran recuperar los contaminantes.

#### **VI.6.5 Por Arrastre de Vapor.**

Esta tecnología se basa en el mismo principio que de arrastre con aire, la diferencia radica en la inyección de vapor a través de pozos. Los contaminantes que logran desorberse del suelo son los que se recuperan, pueden recuperarse para reciclarse o bien acoplarse a otro tipo de proceso para que puedan ser destruidos. No es muy recomendable para suelos contaminados con hidrocarburos.

#### **VI.6.6 Incineración.**

La incineración es el tratamiento de elección para destrucción de residuos peligrosos y la solución afectiva para suelos con alta concentración de contaminantes orgánicos, los cuales se llevan a una completa mineralización transformándose en bióxido de carbono el cual se descarga a la atmósfera, pero se genera una alta concentración de partículas suspendidas por lo que un buen equipo debe contar con sistemas de control de misiones para asegurar que se trata de una tecnología limpia.

El material inorgánico resultante requiere tratarse como residuo peligroso antes de su disposición final, si rebasan las concentraciones permisibles (generalmente basado de normas internacionales). Cuando esto ocurre se debe enviar a confinamiento. La operación de un proceso de incineración implica un alto costo que está influido por la necesidad de transportación a la planta de tratamiento.

### **VI.6.7 Confinamiento.**

El confinamiento no es precisamente una opción de remediación, se recomienda cuando se tienen residuos peligrosos que no pueden ser tratados mediante otras tecnologías, o bien acoplado a otros procesos como la incineración. Para esta opción debe considerarse el costo de envasado de material en contenedores especiales y el de transporte al sitio de confinamiento. En México aun no se cuenta con instalaciones seguras para ello, por lo que es preferible buscar otras opciones antes de pensar en el confinamiento.

### **VI.6.8 Vitrificación.**

Consiste en introducir dos electrodos en el suelo donde se localiza la mancha de contaminación, suministrar una muy alta carga eléctrica para lograr la vitrificación de los contaminantes. La tecnología solamente opera en la zona no saturadas, es aun mas costosa que la incineración, por lo que no ha logrado llevarse a una escala mayor, solamente se ha operado a escala de demostración en campo.

De lo anterior se podría resumir que las tecnologías mas prometedoras para el tratamiento de suelos contaminados con petróleo son la biorremediación, algunas técnicas de estabilización y la incineración. Para asegurarse de cual es la idónea para un sitio en particular, es indispensable realizar pruebas preliminares de tratabilidad en el laboratorio, donde deben simularse las condiciones que prevalecen en el campo. Lo mas recomendable es realizar pruebas de demostración en campo a escala piloto, sin embargo esta tiene un costo alto por lo que muchas compañías prefieren no hacerlo.

## VI.7 COSTOS DE REMEDIACIÓN.

Un proyecto de remediación abarca tres principales: la caracterización, las pruebas de tratabilidad y la conceptualización del proceso de tratamiento, es decir, el diseño, adecuación y puesta en funcionamiento del mismo.

Hacer un desglose de los gastos de un proyecto de remediación, es algo muy sano, ya que permite entender lo complejo del problema y la urgente necesidad de progreso que tiene México en esta materia.

Para estimar los costos de un proyecto de remediación se debe considerar los siguientes rubros: equipo, trabajo de campo, trabajo de laboratorio y trabajo de gabinete. Los gastos generados en cada uno se desglosan a continuación.

### Equipo.

Los gastos requeridos corresponden a inversión, operación y desgaste del equipo, con la consecuente necesidad de mantenimiento. El equipo se necesita en actividades de protección y monitoreo, así como durante las propias actividades de remediación:

### Trabajo de Campo.

Este incluye lo siguiente:

- Reconocimiento del sitio con ayuda de planos de localización.
- Perforación de pozos para toma de muestras, para monitoreo o para procesos de extracción-tratamiento-inyección;
- Instalación de equipo de proceso o auxiliares;
- Movimiento de materiales como en los procesos ex situ;
- Operación y supervisión en todas las actividades.



### Trabajo de Laboratorio.

El trabajo de laboratorio es de dos tipos analítico y de adecuación a las condiciones de campo:

- Análisis químicos para conocer el tipo y concentración de los contaminantes;
- Análisis fisicoquímicos para conocer las características del suelo;
- Pruebas de tratabilidad para evaluar la capacidad y eficiencia de la eliminación de contaminantes.

### Trabajo de Gabinete.

Es una actividad de tipo administrativo para integrar todas las actividades referentes al proyecto, a esta corresponden:

- Calendarización;
- Planeación;
- Diseño;
- Análisis e interpretación de resultados;
- Elaboración de informes.

## VI.8 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN.

El suelo es un recurso natural difícilmente renovable, por lo que para eliminar los contaminantes de un sitio afectado, deben buscarse alternativas factibles y económicas que no lleven a la destrucción o confinamiento del suelo a menos que sea el último recurso.

Hay en el mercado diversas tecnologías de remediación y también diversas compañías que ofrecen sus servicios. En aspectos de remediación de suelos y otros servicios para el control de la contaminación no es recomendable adjudicar un contrato únicamente por licitación, ya que se corre el riesgo de un fracaso en el servicio y consecuentemente una pérdida de recursos y de tiempo. La selección de una tecnología va acompañada de la selección de la compañía que la aplicara. Hay dos caminos principales para realizar esta selección, una es evaluar los antecedentes curriculares de la compañía y la otra evaluar las bases científicas de las tecnologías. Se puede hacer una selección en trabajo de gabinete, o bien probar las tecnologías en campo a escala de demostración. Un ejemplo de esta opción se ha venido desarrollando para PEMEX-Refinación.

### Evaluación en trabajo de gabinete:

- Experiencia previa avalada por usuarios y por una autoridad ambiental.
- Base científico-tecnológica de los desarrollos.
- Estrategia para la evaluación técnica del problema.
- Antecedentes curriculares del personal técnico.

### Evaluación de campo:

- Desarrollo de pruebas de tratabilidad en el laboratorio.
- Estrategia para las pruebas de demostración en campo.
- Capacidad técnica del personal.
- Apoyo analítico especializado.

- Efectividad en la eliminación de contaminantes;
- Tiempo en el que se logra la eliminación de contaminantes;
- Costo por unidad de volumen tratado;
- Impacto ambiental del proceso;
- Seguridad ambiental durante y posterior al tratamiento.

A cada uno de los rubros anteriores se le asignó un peso específico con la finalidad de hacer una evaluación objetiva que arrojará cifras y no únicamente estimaciones. A través de la estrategia planteada se ha logrado la evaluación tanto de la eficiencia de la tecnología como del desempeño de la compañía, además de que se han podido probar diferentes tipos de tecnologías. Para la realización de las pruebas en campo se eligió un suelo con altos niveles de contaminación, medida como hidrocarburos totales del petróleo (HTP), con la idea de que las tecnologías que logren resultados exitosos en los peores casos, puedan hacerlo en suelos menos contaminados. A través de esta evaluación se podrá contar con los elementos técnicos y económicos para asignar contratos con mayores posibilidades de éxito.



## CONCLUSIONES Y BIBLIOGRAFÍA

### VII.1 CONCLUSIONES

El problema del impacto que la actividad petrolera esta produciendo sobre el ambiente no es solo un problema ecológico, se trata de una cuestión de salud, de producción, de desarrollo, de conservación del patrimonio mundial.

Este impacto ambiental que es ocasionado por las actividades petroleras depende del ecosistema en que se realicen y de la actividad específica de que se trate. La falta de información disponible y de estudios de casos concretos, hace muy difícil la evaluación precisa y puntual que la problemática exige. En general podría asegurarse que este impacto es controlable y podría disminuirse, e incluso ser eliminado.

Como se ha observado en la jerarquización de los desechos contaminantes que se producen, si pudiésemos eliminar (con su control, tratamiento y disposición) a los recortes de la formación, a los fluidos de perforación y a las aguas aceitosas, el problema se reduciría, ya que restaría ocuparnos de los afluentes producidos durante las estimulaciones y por los materiales que se derramen durante el traslado, carga y descarga.

Cuando el sistema de quemadores opera con alta eficiencia, de hecho con la que fué diseñado y se mantiene en condiciones óptimas durante toda su operación, es garantizable la incineración de prácticamente todos los afluentes del pozo, los que no llegan a ser incinerados en realidad no son contaminantes (agua y sólidos libres de aceite). Si la capacidad de los quemadores no es suficiente, será entonces no necesario adicionar más equipo o cambiarlo por otro de mayor capacidad.

En cuanto en los materiales desechados durante el transporte y principalmente en la carga y descarga de estos en el pozo, la forma de evitarlo

es simple únicamente mejorando la forma de empaque, los empaques mismos y los procesos de maniobras de los materiales, si es necesario, adecuar las instalaciones para el manejo de materiales en cualquier forma física. Los equipos de perforación, tanto marinos como terrestres, se encuentra diseñados para realizar las maniobras de todos los materiales que necesitara tanto en la carga como en la descarga, por lo que la mayoría de los vertimientos son debidos a negligencia humana.

Por lo tanto el problema se enfoca principalmente a tres contaminantes, recortes de la formación, desechos de fluidos de perforación y aguas aceitosas, y para estos se presento las tecnologías de tratamiento y disposición; considerando que si evitamos emanaciones de este tipo de contaminantes al medio ambiente, podemos considerar a la operación de perforar un pozo petrolero, dentro de los lineamientos actuales como aceptable.

El objetivo final de la politica del medio ambiente es la protección de la salud del hombre y la conservación en cantidad y calidad de todos los recursos que condicionan y sustentan la vida, siendo estos recursos, el aire, el agua, el suelo, el clima, las especies de flora y fauna, el hábitat y el patrimonio natural y cultural.

Como resultado de esta protección al ambiente ha surgido un sistema complejo de convenios y tratados en materia ambiental que en ocasiones se complementan o se contraponen. Asimismo, en diversos foros se elaboran o revisan normas jurídicas en función de nuevos principios del derecho internaccional del medio ambiente.

Tambien se ha tratado de enfatizar la función tan importante que tienen las técnicas y procesos de remediación de desechos emitidos al ambiente, todo esto con el fin de proteger el entono.

La diversidad de los aspectos incluidos son una muestra de lo compleja que es la tarea de los procesos de remediación de un sitio contaminado, no por los aspectos técnicos, ya que los avances de investigación y desarrollo de tecnologías innovadoras extranjeras han abierto una amplia gama de posibilidades para abordar los problemas de contaminación de suelos, acuíferos y atmósfera.

Uno de los aspectos que conviene analizar y discutir ampliamente es el hecho de tomar como base, las regulaciones y los procedimientos internacionales y que que han seguido otros países, específicamente Estados Unidos, tal vez como punto de partida si conviene hacerlo, porque no se tiene alguna base, pero se tendra que ir generando las propias y dejar que se vaya retroalimentado de manera constante al poner en práctica algunas acciones. En varias situaciones hemos tomado como referencia, cualquier valor de las concentraciones permisibles de contaminantes que rigen en Estados Unidos, sin saber cómo fueron establecidas y sin entender por qué para un mismo parámetro indicador existe un amplio intervalo para escoger un valor. Para estar seguros que los valores elegidos fueron los adecuados se tendrán que preparar para realizar los estudios de evaluación de riesgo aplicables específicamente a los sitios donde están los problemas de contaminación de los suelos.

Otro aspecto en el que se deberan generar herramientas modernas es en las auditorías ambientales, en la evaluación las diferentes tecnologías y en la selección de compañías de servicios ambientales. Aquí, necesitamos crear esquemas más objetivos donde se puedan unificar los criterios de los diferentes especialistas y en los que las opciones se emitan de una forma cuantitativa con base en los aspectos de mayor peso específico. esto dará una mayor claridad a las evaluaciones y se podrán tener mejores resultados precisos en un menor tiempo.

Finalmente, la complejidad de los trabajos para de remediación de suelos contaminados, se sugiere la integración de grupos interdisciplinarios e interinstitucionales en los que los que especialistas de alto nivel en aspectos técnicos y legales aporten nuevas ideas para responder con más confianza a éste que es uno de sus grandes retos.

## VII.2 RECOMENDACIONES

La mejor manera de evitar un daño o afectación al medio ambiente, donde se realicen operaciones de perforación o cualquier otra actividad industrial es la "cero descarga"; esto se logra mediante la adaptación de circuitos cerrados para el manejo de los desechos generados en un equipo de perforación durante su operación. En caso de no existir en los equipos se deberá adecuar un sistema lo más óptimo posible, aprovechando los sistemas de recolección ya existentes.

De no ser posible la instalación de un sistema de recolección de desechos o lograr una buena recolección de estos; se tiene como alternativa utilizar fluidos no contaminantes, de esta manera nuestros recortes resultan menos contaminantes y de más fácil manejo.

En algunas operaciones se requiere la utilización de quemadores, estos deben de ser de alta eficiencia, para evitar al máximo las emisiones a la atmósfera.

Se debe evitar al máximo y de ser posible erradicar las emisiones al ambiente por negligencia humana, así como lograr una cultura de protección al ambiente en todos los niveles de operación así como los que de manera indirecta participan en tales actividades.

Dependiendo de los desechos que generemos, requeriremos un proceso de tratamiento o disposición, acompañado este de un estudio económico y un análisis técnico, una vez elegido deberá seguirse una metodología de diseño para aplicar el proceso seleccionado.

Crear organismos internos para una mejor visualización y estudio de los problemas que en materia de contaminación ambiental se refieran y que se interrelacionen en las diferentes actividades, para poder hacer una reglamentación aplicable al país.

El la medida en que las actuales generaciones respeten, cuiden y regeneren los daños ocasionados al medio ambiente, dara pauta a una cultura generalizada de protección a la ecología.

### VII.3 BIBLIOGRAFÍA

- ☞ Aguilar S.F. "Retos y oportunidades de la ciencia del suelo al inicio del siglo XXI." ,1995.
- ☞ A.L. Lawrence and D.B. Paul. "Monitoring Hydrocarbons in Beaufort Sea Sediments and Organisms: Implications for Oil Spill Monitoring", 1989.
- ☞ A.K.Wojtanowicz. "Dry Drilling Location-An Ultimate Source Reduction Challenge: Theory, Desing and Economics". SPE, 1993.
- ☞ A.R. Rogers, J.T. Dante and C.K. Michael. "A Screening Protocol for Bioremediation of Contaminated Soil". Enviromental Progress, Vol 12, No.2, 1993.
- ☞ ARPEL. "Guia para el Tratamiento y Eliminación de Desperdicios de perforación de Explotación y Producción",1991.
- ☞ Avril Osorio y Humberto Celis. "La industria Petrolera ante la Regulación Juridico-Ecologica en México: La Industria Petrolera en el Ámbito Internacional y el Medio Ambiente",1991.
- ☞ A.V. Gregory, S.G. Alan and A.M. George. "A Survey of Technical Aspects of Site Remediation: Site Remediation Strategy". Waste Management, Vol 14, No. 1, pp 61-66, 1994.
- ☞ A.V. Gregory and E.L. Dennis. "A Survey of Technical Aspects of Site Remediation: Stabilization and Solidification". Waste Management, Vol 14, No. 1, pp 67-73;1994.
- ☞ A.V. Gregory and E.L. Dennis. "A Survey of Technical Aspects of Site Remediation: Air Stripping". Waste Management, Vol 14,No. 1, pp 75-81; 1994.



- ☞ Bailey, R.C. & Eynon, B.P. "Toxicity testing of drilling fluids: Assessing laboratory performance and variability. Symposium on Chemical and Biological Characterization of Sludges, Dredge Spoils and Drilling Muds". ASTM., 1986.
- ☞ Benidickson J., Doern G.B., Olewiler N., "Getting the Green Light, Envirotal Regulation and Investment in Canada." C.D. Howe Institute.
- ☞ Bretler R.J., Boehm P.D., Neff J.M. & Requejo A.G. "Acute Toxicity of drilling muds containing hydrocarbon additives and their fate and partitioning between liquid, suspended, and solid phases". Report prepared for the American Petroleum Institute; , 1984.
- ☞ Dan Anderson and Tom Brouns. "In-situ Bioremediation of Ground water"; 1994.
- ☞ D.A. Galjan. "The biological Waste Descomposition in Drilling Pit at the Gas-Condensate Fields". IADC/SPE; 1992.
- ☞ D.J. Jeremiah. "What 's New in Bioremediation?". Sixth Annual Symposium of de Arizona Hydrological Society; 1993.
- ☞ D.N. Miller. "Environmental Protection: Balancing The Risks".SPE. ,1991.
- ☞ D.W. Fischer "The Problem of Setting Standards for Enviromental Protection: The United Kingdom and Norwegain Approaches". Institute of Industrial Economics, Bergen, Norway.
- ☞ EPA., 1988. "Code 40 of Federal Regulations (parts 425 to 699 July 1988).
- ☞ EPA. "Understanding Bioremediation, A Guide for Citizens2., EPA/540/2-91/002; 1991.
- ☞ F.R. Engelhardt., J.P. Ray., A.H. Gillam. "Drilling Wastes" Part I, Part V, Part VI". Elsevier Applied Science. Proceedings of the 1988 International Conference on Drilling Wastes Calgary, Alberta, Canada, 1988
- ☞ G.J. Reynolds. "The Environment: Its Cultural Importance".SPE. ,1991.

- 📖 Gob. de México. "Decreto Promulgatorio del Convenio Internacional Sobre la Prevencion de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y Otras Materias". Diario Oficial; 1992.
- 📖 Gob. México. "Ley General del equilibrio ecologico y la proteccion al ambiente". 3a. edición. Ediciones Delma; 1994
- 📖 G.M. Ritchie and M.J. Zambonini. "A Cuttings Re-Inyection Feasibility Study for a Minimum Facilities Plattform". Offshore Technology Conference; 1994.
- 📖 G.T.Tan. And J.J. Hartog. "Enviromental Auditing in Exploration and Production Companies: A Tool for Improving Enviromental Performance". SPE. , 1991.
- 📖 Grupo Rebackee, S.A. de C.V. "Curso sobre remediación de Suelos", 1996
- 📖 Harald Rensvik. "A Review of The Norgwegian State Pollution Control Authority's Long Term Plan For Operations on The Norwegian Shelf", 1990.
- 📖 H. George. and E.D. Lloyd JR. "Soil Remediation for the Petroleum Extraction Industry", 1994.
- 📖 H.H. Michael. "Land-Treating Petroleum: Hydrocarbon-Contaminated Soils". Journal of soils Contamination , 1994
- 📖 Investigación de Nuevas Tecnologías para la Prevención y Control de la Contaminación en las Instalaciones de PEP. "Técnicas Para la recolección y Tratamiento de Aguas Aceitosas en Plataformas Marinas"
- 📖 Jeffery Denit., "EPA's Perspective on Regulation of Wastes from Oil and Gas Exploration and Production". Enviromental Affairs Committee.
- 📖 Julia Carabias Lillo y Ana Irene Batis. El Auge Petrolero: De la Euforia al Desencanto: "El Impacto Ecológico de la Actividad Petrolera", 1989.

- ☞ K.M. Amhus & G. Slora. "Cuttings and Wasted Mud Disposal". SPE/IADC. Drilling Conference, 1991.
- ☞ K.Meijer and K. Krijt., 1991. "Implications of The Netherland's Environmental Policy for Offshore Mining".SPE.
- ☞ L.H. Reiss. "The Reservoir Engineering Aspects of Fractured Formations". Editions Technip, 1980.
- ☞ L.J. Field.and D.B. Anderson. "An Analytical to Removing Mud Soilds". SPE., 1990.
- ☞ Maria del Carmen Carmona Lara. "La industria Petrolera ante la Regulación Juridico-Ecologica en México: La Industria Petrolera ante la Regulación Ecológica", 1991.
- ☞ M.de Krieger. " Review of Environmental Research and Policy With Regard to Oil and Gas on the Dutch Continental Shelf". SPE., 1991.
- ☞ M.P. Atkins, R. Minton, C.Dodson, John Prescott and D. Thomas. "Drill Cutting Clean-up: Recent Developments with Torbed", 1993-1994. Processing".
- ☞ Oemar Fauzy and. Roland Siregar. "Environmental Health in Petroleum Operations". Proceedings Indonesian Petroleum Association, 1989.
- ☞ P.A. Scholten, P.J.M. Van Der Ham, W.G.J. Huijnen."Environmental Protection Offshore The Netherlands". SPE., 1989.
- ☞ Petroleum Extension Service and Association of Oil well Servicing Contractors. "Well Servicing (Introduction to Oil Well Service and Workover.) and Workover". Lesson 1. 2nd. Edition, 1991.
- ☞ Pheiffer T.H., Nunno T.J., and Walters, J.S. "EPAs assessment of european contaminated soil treatment techniques. Environ", 1990.
- ☞ Procuraduria federal de proteccion al ambiente. "Formato oficial para auditorias ambientales". Subdirección de Auditoria Ambiental, 1994.

- ☞ Protección Ambiental. "Convenio Marpol 73/78".
- ☞ P.T. Kostecki, E.J. Calebrese.,and H.M. Horton.. "Review of present risk assessment models for petroleum contaminated soils.chap.21" in Petroleum Contaminated soils, Vol.I; Lewis Publishers, Inc. USA., 1989.
- ☞ R.A. Andrew and M.E. Gary. "Bioremediation: An Effective Remedial Alternative for Petroleum Hydrocarbon- Contaminated Soil". Enviromental Progress, Vol 11, No. 4, 1992.
- ☞ Rafael Leon Fajardo, Maclovio Yañes Mondragon. "Los Fluidos de Perforación y su Impacto en el Medio Ambiente". Congreso Latinoamericano de perforación.
- ☞ R.C.Minton, and Byron Secoy. "Annular Re-Inyección de Drilling Wastes". SPE. ,1992.
- ☞ R.C. Minton. "Downhole Inyección de OBM Cuttings Economical in North Sea". Oil & Gas Journal, 1993.
- ☞ R.C. Minton, D.D. Caudle, D.S. McKelvie. "The Physical and Biological Impact of Processed Oil Drill Cuttings: E & P Forum Joint Study". SPE. ,1993.
- ☞ R.C. Minton, B.P. Chairman. "E & P Forum Guidelines for the Planning of Downhole Inyección Programmes for Oil Based mud Wastes and Associated Cuttings from Offshore Wells", 1992.
- ☞ R.L. Arscott. " New Directions in Environmental Protection in Oil and Gas Operation". SPE., 1988.
- ☞ R.M.Eddie. "Remediación de Suelos por Microencapsulamiento de Hidrocarburos". Conferencias Magisteriales para la Remediación de suelos, 1995.
- ☞ Russell D.L. "Remediation Manual for petroleum-Contaminated Sites" ., Technomic Publisshing Co., USA., 1992.

- ☞ S.K. Dudley and R.B. Bustamante. "Biological Treatment of Selected Components of An Oil Shale Processing Waetewater by Extended Aeration". Eastern Oil Shale Symposium, 1990.
- ☞ SEDUE-EPA. "Plan Integral Fronterizo México-E.U.A.", 1994.
- ☞ Secretaria de desarrollo Social, Instituto Nacional de Ecología. "Informe de la situacion general en materia de equilibrio ecologico y proteccion al ambiente" 1993-1994.
- ☞ Triton Enginering Services Company, Inc. "Pollution Control Regulations for Offshore Lake Maracaibo, Venezuela", 1992
- ☞ T.Oliver, P.T. Kostechi., and E.J. Calabrese. "State summary of soil and Groundwater cleanup standards for hydrocarbons, association for the environmental héalth of sois, for EPAoffice of underground storage tanks, 1993.
- ☞ United States Departament of Energy, Office of Environmental Restoration and wasted Management. "Technology Development, A National Program of Demostration, Testing and Evaluation", 1993.
- ☞ United States Enviromental Proteccion Agency. "Cleaning up the Nation's waste sites: Markets and Technology Trends", 1993.

DONACION



BIBLIOTECA  
INSTITUTO DE ECOLOGIA  
UNAM

RECIBIDO  
JUN. 25 1998

---