

37
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

CAMPUS ARAGON

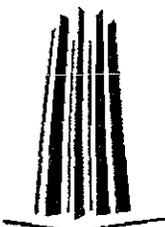
ESTUDIO INTEGRAL PARA EL
ALMACENAMIENTO DE RECORTES DE
PERFORACION DE PEMEX EXPLORACION Y
PRODUCCION EN CAVERNAS DE DOMOS
SALINOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA MECANICA)

P R E S E N T A:
PEDRO ISRAEL RAMIREZ LUIS

ASESOR M. I. CUITLAHUAC OSORNIO CORREA



MEXICO

1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

276526



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.

Todo tiene un tiempo:

Hay un tiempo para llorar y un tiempo para reír.

Un tiempo para abrazarse y un tiempo para alejarse de los brazos.

Un tiempo para perder y un tiempo para ganar

Tiempo para odiar y tiempo para amar

Un tiempo para recordar y un tiempo para olvidar.

Un tiempo para llegar y un tiempo para partir

Un tiempo para empezar . . . y un tiempo para terminar.

Eclesiastes (3. 2-8)

A mis padres:

por su apoyo en todo momento;

por sus oraciones en silencio;

por sus preocupaciones calladas;

por su austeridad y sacrificio para darnos lo mejor;

por ser la inspiración que me impulsa a la superación constante.

Por haber trazado con sus vidas el camino y el ejemplo a seguir y a realizarme como hombre.

A mis hermanos:

David, Julio, Silvia, Jorge y Sonia

*porque sin ustedes no habría nada de lo que hay ahora en mi vida,
incluyendo a Maraf.*

A mis tíos:

Enedina y Gabriel:

porque yo también fui extranjero y ustedes estaban conmigo.

A mis abuelos:

Julia^(t) y Tranquilino:

*cuando noblemente me preguntaste ¿que es una **tesis**?
esto es una **tesis**.*

AGRADECIMIENTOS

*A mis asesores
Por su dirección en este tema*

*Al jurado por sus valiosos comentarios que ayudaron a mejorar este trabajo
A la Universidad Nacional Autónoma de México Campus Aragón.
A mis profesores y compañeros.*

Un agradecimiento muy especial a.

**ING. DAVID AZPEITIA HERNANDEZ
ING. JOSE ENRIQUE FRIAS HINOJOSA
M.C. IGNACIO R. CORTES MONROY
ING DAVID VELAZQUEZ CRUZ
ING JORGE MANCILLA**

Por su apreciada atención, consejos y consideraciones en mis inquietudes académicas.

Al Ing. Fernando Pérez Cuevas por su amistad y apoyo incondicional.

**A UIRAPURU Eduardo, Guillermo, Felix, y Gilberto
A Liliana Flores y María de Lourdes**

Agradezco al Instituto Mexicano del Petróleo, particularmente a la Línea de MANTENIMIENTO DE POZOS por brindarme todo el apoyo necesario para la culminación de este trabajo, e iniciar en él mi carrera profesional, con especial agradecimiento a los ingenieros y amigos.

**RESUMEN
INTRODUCCION
CAPITULO I**

1.1. IMPACTO AMBIENTAL DE LOS DESECHOS	I-1
1.2 OPERACIONES DE PERFORACION Y PRODUCCION	I-3
1 2.1 PERFORACION	I-4
1.3 FLUIDOS DE PERFORACION	I-6
1 3.1 CONTROL DE LA VISCOSIDAD	I-8
1 3 2 CONTROL DE LA DENSIDAD	I-9
1 3 3 CONTROL DEL PH	I-11
1.3.4 LUBRICANTES	I-11
1.3.5 INHIBIDORES DE CORROSION	I-11
1 3 6 BIOCIDAS	I-13
1.3.7FLUIDOS DE PERFORACION BASE ACEITE	I-14
1 3 8 METALES PESADOS	I-15
1 4 FUENTES DE DESECHO	I-16
1 5 FUENTES EMISORAS	I-21
1 6 DESECHOS GENERADOS DURANTE LA PERFORACION, REPARACION Y TERMINACION DE POZOS.	I-26

CAPITULO II

2 1 REGLAMENTACION	II-1
2.1.1 REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y PROTECCION AL AMBIENTE.	II-1
2.1.2 REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIERENTE EN MATERIA DE RESIDUOS PELIGROSOS	II-2
2.1.3 REGLAMENTO PARA LA PREVENCION Y CONTROL DE LACONTAMINACION DE AGUAS.	II-6
2.2 MANIFIESTO PARA EMPRESAS GENERADORAS DE RESIDUOS PELIGROSOS	II-8
2.3 CODIGO DE REGLAMENTACIONES FEDERALES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA DEL NORTE.	II-11
2.4 REGLAMENTO APLICABLE AL MAR DEL NORTE.	II-13

CAPITULO III

3.1 TECNOLOGIAS Y EQUIPOS PARA EL TRATAMIENTO DE RECORTES CONRTAMINANTES.	III-1
3 1.1 ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICION DE RECORTES.	III-2
3.2 TECNICA 1 RETORTA TERMICA.	III-6
3.3 TECNICA 2 PROCESI TORBED.	III-13
3.4 TECNICA 3 MICROENCAPSULACION.	III-22
3.5 TECNICA 4 SOLIDIFICACION Y REDUCCION.	III-26
3 6 TECNICA 5 ESTABILIZACION Y DISPOSICION DE RECORTES POR CONFINAMIENTO	III-32
3 7 TECNICA 6 EXTRACCION CON SOLVENTES.	III-42
3 8 TECNICA 7 EXTRACCION CON SURFACTANTES.	III-44
3.9 TECNICA 8 TRATAMIENTO CON ENZIMAS.	III-49
3.10 TECNICA 9 BIODEGRADACION.	III-53
3 11 TECNICA 10 INYECCION ANULAR.	III-56
3 12 TECNICA 11 INYECCION EN UN POZO CENTRALIZADO COSTA AFUERA.	III-60

3.13	TECNICA 12 INYECCION EN UN POZO TERRESTRE.	III-62
3.14	TECNICA 13 CONFINAMIENTO EN DOMOS SALINOS.	III-66
3.15	TECNICA 14 FLUIDOS ECOLOGICOS.	III-76

CAPITULO IV

4.1	GENERALIDADES ACERCA DE LOS DOMOS SALINOS.	IV-1
4.2	USOS DE LOSA DOMOS SALINOS.	IV-10
	4.2.1 USO PARA EL CONFINAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS.	IV-11
4.3	USO DE LAS CAVERNAS DE DOMOS SALINOS PARA EL ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS.	IV-14
4.4	CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL LUGAR DE UBICACIÓN PARA LA CREACION DE CAVERNAS EN UN DOMO SALINO.	IV-15
	4.4.1 CUBIERTA DE SAL Y ESPACIAMIENTO DE LAS CAVERNAS.	IV-16
4.5	CREACION DE LAS CAVERNAS.	IV-18

CAPITULO V

5.1	TRANSFERENCIA DE MASA DE UN CONFINAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS.	V-1
	5.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UN CONFINAMIENTO TÍPICO.	V-3
	5.1.2 DEFINICIÓN DE ZONAS ACTIVAS.	V-3
	5.1.3 MODELOS CONCEPTUALES	V-4
	5.1.4 CÁLCULOS Y RESULTADOS DEL FLUJO DE SALMUERA.	V-9

CONCLUSIONES

APENDICE 1

APENDICE 2

BIBLIOGRAFIA

RESUMEN

El problema ambiental relacionado a los residuos peligrosos es grave y de difícil solución en su generación, manejo y/o disposición final. Particularmente en México, la capacidad de las opciones de tratamiento no son suficientes para cubrir una demanda cada vez mayor de estos servicios. Las bases para la idea de confinamiento de residuos peligrosos en cavernas lixiviadas en domos salinos, surgen en Alemania como una respuesta al problema de almacenamiento de crudo y gas natural, debido a las propiedades y características de los domos salinos que los hacen idóneos para el almacenamiento temporal o confinamiento definitivo para diversos usos. En el mundo existen cuencas salinas extensas y deseables para estos fines (incluyendo las existentes en México). La tecnología para la formación de las cavernas es semejante a la usada para la exploración y explotación de los yacimientos petroleros. La metodología para el confinamiento de residuos peligrosos incluye diferentes etapas que van desde estudios geológicos, hasta la operación de una planta de pretratamiento de los residuos para su posterior depositación final. La capacidad de confinamiento es alrededor de 500,000 Ton. Las perspectivas para la aplicación de la tecnología en México son excelentes, debido a que el análisis de transferencia de masa aplicado en este estudio muestra que: los residuos difícilmente se transformarán a una fase fluida por la pequeña afluencia de salmuera y, si aún ocurriera que éstos pasaran a una fase móvil (líquida o gaseosa), el flujo de éstos a través de la masa salina sería casi inexistente.

En la mayoría de los casos el impacto ambiental de los desechos debería ser mínimo si éstos permanecieran en el punto de liberación, desgraciadamente la mayoría de los desechos emigra de estos puntos para afectar un área extensa. La migración frecuentemente se encamina a través del agua subterránea a lo largo del gradiente hidráulico local, cuando el desecho se libera en tierra. Al ser descargados al mar, los desechos siguen las corrientes y aires prevalecientes, por la que la migración se da más rápidamente. Para las emisiones atmosféricas los contaminantes siguen los vientos dominantes, los que ocasionan también la contaminación de una gran extensión.

Manejo de los desechos:

El camino más efectivo para minimizar el impacto ambiental de las actividades de perforación y producción, es el desarrollo e implementación de un plan de manejo efectivo de desechos. Los desechos que no puedan ser reusados o reciclados deben ser tratados y posteriormente dispuestos conforme a la normatividad. Se debe desarrollar un plan escrito para el manejo de cada uno de los desechos generados en cada sitio de desechos y éste debe ser eficientemente comunicado a cada empleado involucrado con el manejo de éstos

Método de tratamiento de desechos

La mayoría de los desechos requieren de algún tipo de tratamiento antes de que puedan ser dispuestos. El tratamiento de los desechos incluye la reducción del volumen total, reducir la toxicidad y/o alterar la habilidad de emigrar en los sitios de disposición. Una gran variedad de métodos de tratamiento están disponibles para diferentes tipos de desechos, aunque los costos varían significativamente. Sin embargo, los métodos de tratamiento de desechos seleccionados, debe cumplir con todas las regulaciones a pesar de los costos.

Uno de los pasos más importantes en el tratamiento de los desechos es la segregación de éstos en sus constituyentes originales, sólidos, agua e hidrocarburos con esto se separa los constituyentes más tóxicos de la fuente de desechos obteniéndose un volumen menor lo que propicia un menor costo de disposición. La primera separación ocurre con la selección y operación de equipos, como desarenadores, tanques de separación, hidrociclones, filtros a presión, sistemas de flotación de gas o centrifugas de decantación. En áreas áridas, la evaporación y/o filtración pueden ser usadas para separar los desechos.

Un gran número de métodos están disponibles para tratar los sólidos contaminados con hidrocarburos, como los recortes de perforación o sólidos producidos. Los sólidos pueden ser lavados por agitación con un chorro de agua a alta velocidad, mediante la adición de

algún surfactante. Los sólidos pueden también ser mezclados con un material absorbente de aceite, tal como carbón o carbón activado. Una tecnología emergente pero promisoro para tratar los sólidos contaminados con hidrocarburos, es la biorremediación: Otros métodos de tratamiento incluyen, destilación, extracción con solventes, incineración, estabilización/solidificación, etc.

Los desechos acuosos pueden ser tratados por varios métodos, incluyen intercambio iónico, precipitación, ósmosis inversa, destilación/evaporación, procesos biológicos, neutralización, solidificación etc. Estos procesos pueden eliminar los sólidos disueltos en el agua o integrar éstos en otros sólidos para prevenir posteriores lixiviados después de su disposición

Métodos de disposición de los desechos:

Existen numerosos métodos para la disposición de los desechos de la industria del petróleo, por lo que su elección depende del tipo, composición y grado de regulación de los desechos.

El método de disposición primario para desechos acuosos es la inyección dentro de pozos profundos. Si la calidad del agua no rebasa los límites establecidos por las regulaciones, se pueden obtener permisos para desecharla en el área, otros métodos de disposición involucran el transporte del agua contaminada hacia una batería de separación, donde se cuenta con métodos más sofisticados para su tratamiento y posterior disposición a fuentes naturales o agua de reuso.

Regulaciones ambientales

Unos de los cambios más significativos ocurridos en las operaciones de extracción de petróleo durante los ochentas, fué la necesidad de minimizar el impacto ambiental causadas por éstas, debido al deterioro observado. Estos cambios han sido manejados por un incremento de las restricciones y un aumento de las regulaciones que gobiernan

las actividades de perforación y producción de pozos petroleros. La mayoría de estas regulaciones imponen sanciones económicas y penalizadas por violación a los reglamentos establecidos. Estas regulaciones incrementan significativamente el costo de las operaciones de esta industria, sin embargo, la violación de cualquiera de ellas causara un costo mayor, ya que además de las multas pagadas se tendrá un costo adicional por remediación y recuperación de derrames.

INTRODUCCION

"Siempre que vengas aquí pregúntate
¿ quien soy y adonde voy?
Psic. Martín López Isaias".
Profesor de Tae-Kwon-Do de la ENEP Aragón



INTRODUCCION

La industria de extracción del petróleo, la cual incluye todas las actividades de exploración y explotación, provee productos que son esenciales para producir los combustibles para transportación, generación de potencia eléctrica, energía calorífera, medicinas, petroquímicos, etc. estos usos del petróleo contribuyen a nuestro bienestar. Sin embargo, las actividades de búsqueda y producción del petróleo pueden causar un impacto adverso al ambiente, por la generación de desechos en concentraciones mayores a las que son naturalmente encontradas. Estos desechos incluyen hidrocarburos, sólidos contaminados con hidrocarburos, agua contaminada con una gran variedad de disolventes y sólidos suspendidos y una gran variedad de productos químicos. Algunos de estos desechos pueden tener efectos adversos significantes al ambiente, otros tienen un impacto pequeño y otros pueden ser benéficos. En todos los casos, el impacto al ambiente puede ser atenuado o eliminado a través de la implementación de un sistema de manejo de desechos apropiado.

Los pasos más importantes en la minimización del impacto adverso al medio ambiente para una empresa, son emprender un manejo apropiado de las operaciones y tener una educación ecológica acerca de las actividades que puedan potencialmente dañar al ambiente, éstas prácticas involucran la adopción de una actitud ambientalmente responsable para cumplir con las regulaciones que actualmente protegen la ecología.

Problemas ambientales

La recuperación y producción de aceite y gas tienen como objetivo prioritario minimizar el impacto ambiental adverso causado por sus actividades, para lo cual se requiere del entendimiento de los problemas complejos de esta industria. Estos problemas conciernen a las operaciones donde se generan los desechos, su influencia en el ambiente, mecanismos de migración del desecho, alternativas efectivas para el manejo, métodos de tratamiento para reducir su volumen y/o toxicidad y métodos de disposición y remediación de sitios contaminados.

Fuentes de desechos

Los desechos generados por la industria de extracción de petróleo provienen de una gran variedad de operaciones, dentro de las que destacan las actividades de perforación y producción.

Los desechos de perforación incluyen principalmente recortes de perforación y fluidos de perforación. Los fluidos de perforación base agua pueden contener agentes de control de viscosidad, control de densidad, defloculantes, sosa cáustica, inhibidores de corrosión, biocidas, lubricantes, material para pérdidas de circulación y agentes compatibles a las formaciones perforadas. Los fluidos de perforación base aceite contienen una base de hidrocarburos y agentes químicos que mantienen la emulsión aceite-agua. El hidrocarburo más utilizado es el diesel seguido por los aceites sintéticos y minerales de baja toxicidad. Los fluidos de perforación también contienen metales pesados como el bario, cromo, cadmio, mercurio y otros. Estos metales pueden entrar al sistema por los materiales adicionados al lodo o de la ocurrencia natural de las formaciones perforadas, lo cual presenta la mínima parte, ya que estos materiales no se encuentran en cantidades considerables naturalmente.

Otros desechos asociados con la perforación de pozo son: sedimentos y sólidos que son recolectados en el piso de perforación y fondo de los tanques y presas de almacenamiento, aguas de lavado, ácidos de estimulación y acidificación, desechos asociados con el transporte y aguas, tierras contaminadas por los derrames ocasionales y basura.

Otras fuentes de desechos asociadas con la industria del petróleo son las emisiones atmosféricas. Estas primeramente se originan de la operación de máquinas de combustión interna, las cuales son usadas para dar potencia al equipo de perforación, las bombas de lodos, los compresores y otros equipos son necesarios en las plataformas.

La mayoría de las empresas petroleras de perforación y producción son las responsables a mayor escala de contaminación del mar con hidrocarburos. De acuerdo a estudios realizados por la National Research Council, la cantidad total de hidrocarburos que entran al mar es de 3.2 millones de toneladas métricas por año, de las cuales el 2% son debidas a

las actividades de exploración y producción, por lo que es necesario poner más énfasis en este problema.

El objetivo de este trabajo es analizar todas las actividades que se realizan para controlar, tratar, reciclar y almacenar este tipo de desechos y que cumplan con la reglamentación que existe en México y en el mundo y así hacer una evaluación de los métodos de tratamiento y disposición de estos desechos, haciendo hincapié en su factibilidad. Ante la idea de almacenar crudo y gas en yacimientos agotados y en cavernas lixiviadas en domos salinos, nace una propuesta, "almacenar desechos de perforación en domos salinos", esta propuesta tiene sus ventajas y desventajas las cuales iremos desarrollando en los capítulos IV y V.

En el capítulo I se analiza el panorama general de los procesos de operación y producción, fuentes de desecho, como se contaminan, y para que sirven los fluidos de perforación antes de ser llamados desechos de perforación.

En el capítulo II se hace una revisión de la reglamentación ambiental en México como en el mundo, así como los límites, parámetros de descarga y normas que deben cumplir los desechos antes de ser reciclados o depositados.

En el capítulo III se hace una revisión de las tecnologías existentes para el tratamiento, reuso y confinamiento de los desechos de perforación, además del análisis técnico, sitio de aplicación, análisis económico, y equipo utilizado.

En el capítulo IV se describen los lineamientos de un domo salino, los parámetros a seguir para que sean utilizados como depósitos de residuos.

En el capítulo V se describe el comportamiento dentro de la caverna a largo plazo, tomando en cuenta que los residuos serán depositados en forma sólida.

CAPITULO I

IMPACTO AMBIENTAL DE LOS DESECHOS

"No hay pasajeros en la nave espacial tierra;
todos somos tripulación".
Marschall McLuhan comunicólogo canadiense



1.1 IMPACTO AMBIENTAL DE LOS DESECHOS:

La medida primaria del impacto ambiental causado por los desechos de perforación, es su toxicidad sobre los organismos expuestos. La toxicidad de una sustancia, es más comúnmente reportada como su concentración en agua, que da como resultado la muerte de más de la mitad de los organismos expuestos entre un período de tiempo dado. Los tiempos de exposición para las pruebas de toxicidad son normalmente 96 hrs.; aunque se han usado otros periodos de tiempo.

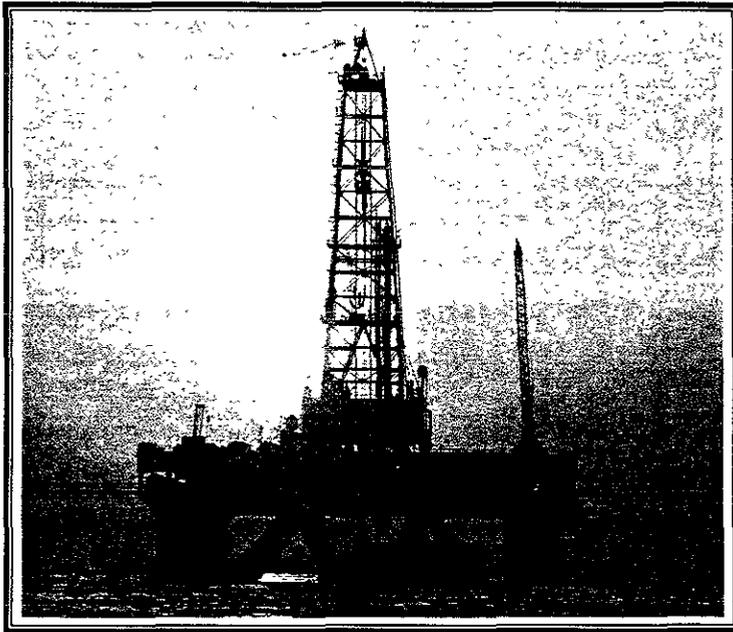


Foto 1 1 la industria petrolera genera varias toneladas diarias de contaminantes

La concentración de hidrocarburos que es letal al 50% de la población expuesta durante la prueba, se le denomina LC_{50} . Valores altos de LC_{50} indican una baja toxicidad, por lo que la mayoría de los organismos sometidos a dicha prueba podrían sobrevivir. Una relación para medir la toxicidad, es la concentración a la cual la mitad de los organismos expuestos exhiben efectos subletales. Esta concentración es llamada EC_{50} . La foto 1.1



muestra una plataforma petrolera costa afuera, los desechos que generan diariamente por toneladas algunas veces son tirados al mar.

El impacto ambiental de los hidrocarburos en el agua, varía considerablemente.

La toxicidad de los hidrocarburos aromáticos es relativamente alta, mientras que las parafinas de cadena recta son relativamente bajas. Los valores de LC_{50} más comunes de los hidrocarburos aromáticos (benceno, tolueno, xileno y etilbenceno) son del orden de 10 ppm (partes por millón), lo que los hace muy tóxicos y su uso de operaciones costa afuera debe restringirse al máximo. Concentraciones menores a 1mg./lt de estos hidrocarburos en el agua provocan un impacto subletal sobre algunos organismos marinos.

La toxicidad de los fluidos de perforación, varía considerablemente dependiendo de su composición. La toxicidad de los lodos base agua que contienen pequeñas cantidades de hidrocarburos puede ser de algunos miles de Partes Por Millón (ppm). Sin embargo, la toxicidad (LC_{50}) de los lodos poliméricos pueden fácilmente alcanzar un millón de ppm.

La toxicidad de los metales pesados, encontrada en las fuentes de desechos, de la explotación del petróleo varía considerablemente. La toxicidad de muchos metales pesados disminuye en su interferencia con la acción de enzimas, las cuales limitan o detienen el proceso bioquímico normal en las células. Los efectos generales que producen estos metales incluyen: daño al hígado, riñón, aparato reproductivo, formación de la sangre y el sistema nervioso. Con algunos metales, estos efectos pueden también incluir mutaciones o tumores. La concentración de metales pesados permitidos para el agua potable, varía para cada metal, pero están generalmente debajo de 0.01mg/lt.

Los metales pesados en los fluidos de perforación descargados costa afuera, normalmente se combinan rápidamente con los sulfatos, que son naturalmente abundantes en el agua de mar para formar insolubles y ser precipitados al lecho marino, este proceso hace a los metales inaccesibles para su consumo y bioacumulación, sin



embargo, durante este proceso le generan problemas a los organismos marinos, que posteriormente afectan a la salud humana por la ingestión de peces y mariscos.

Los métodos de disposición primaria para desechos sólidos, son el confinamiento en celdas controladas, o su depósito en la superficie de algún terreno para relleno. Todos los líquidos libres deben ser removidos antes de su disposición, utilizando separación mecánica, evaporación o mediante la adición de agentes solidificantes. Actualmente se han implementado novedosos métodos para disposición de los desechos en sólidos y líquidos, tal es el caso de la inyección anular, inyección en un pozo profundo, confinamiento en domos salinos y confinamiento en cavidades creadas en rocas impermeables.

1.2 OPERACIONES DE PERFORACION Y PRODUCCION

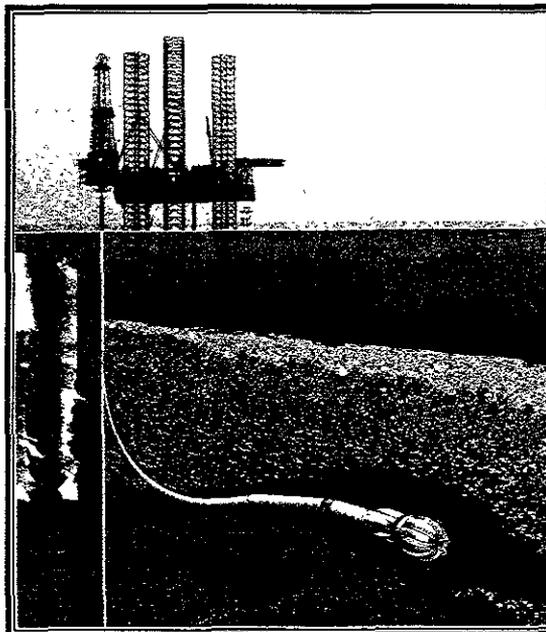


Foto 1.2 pozo horizontal y desviado: un solo pozo puede tener varias conexiones, ya sea perforando abajo (horizontal) o que tenga que perforarse a través de una montaña (desviado), en consecuencia un pozo puede generare varias toneladas de desechos de perforación



La perforación: es el proceso en el cual se realiza un agujero para permitir que los fluidos de hidrocarburos salgan a la superficie. En la foto 1.2 se muestra una sarta de perforación con la barrena, la perforación no siempre es en forma vertical, también puede desviarse, (según lo permita el yacimiento). Los desechos generados durante la perforación, son producidos por los fluidos que se usan para elevar los recortes, a los cuales se les agregan varios materiales. Para cambiar las propiedades de los fluidos, es necesario cambiar las condiciones del agujero.

Producción: es el proceso en el cual los fluidos de hidrocarburos son tratados y usados en la superficie.

El agua encontrada durante la perforación a menudo es producida con hidrocarburos y contienen una variedad de contaminantes, incluyendo hidrocarburos disueltos, disolventes y otros materiales orgánicos como sólidos suspendidos. Para las operaciones de una producción eficiente, son utilizados una gran variedad de químicos.

Durante las actividades de perforación y producción, hay una gran variedad de emisiones que contaminan al aire, estas emisiones son producidas por las máquinas de combustión interna y en menor cantidad por otras operaciones como fugas y sitios de remediación.

1.2.1 PERFORACIÓN:

El proceso de perforación de pozos petroleros y pozos de gas, genera una diferente variedad de desechos, algunos de estos desechos son producidos naturalmente por la perforación de la tierra, por ejemplo: los recortes de perforación y otros materiales son usados para la perforación del pozo como pueden ser fluidos de perforación y otros aditivos asociados. Esta sección recicla los procesos de perforación, los métodos para separar los recortes según el fluido de perforación, los usos de los pozos de reserva y *sitios de preparación*

Resumen de los procesos de perforación.

El equipo y sistemas para perforar son diseñados para empujar y controlar la barrena de perforación contra la superficie terrestre. Esto da como resultado los recortes, que son

removidos desde el pozo por los fluidos de perforación, y como los recortes son eliminados por los fluidos de perforación, de esta manera los fluidos son reciclados.

El mayor camino en donde las actividades de perforación causan un impacto al medio ambiente, es a través de los recortes de perforación y de los fluidos de perforación usados para elevar los recortes desde el pozo. Un impacto secundario puede ocurrir a causa de las emisiones de las máquinas de combustión interna usadas para la potencia de los equipos de perforación.

Durante la perforación los fluidos son inyectados por la sarta de perforación y a través de los pequeños hoyos de la barrena de perforación, los agujeros son diseñados para permitir que el fluido limpie los recortes desde la barrena.



Foto 1.2.1 barrena de perforación, permiten inyectar fluido de perforación para lubricar y enfriar a los dientes, cono y baleros; al mismo tiempo eleva los recortes por la

tejera

Los fluidos atrapan los recortes suspendidos y éstos regresan a la superficie por el orificio anular de la sarta de perforación. Ya en la superficie los recortes son separados, a partir de los fluidos, los recortes con algunos fluidos retenidos, son entonces depositados en pozos para un posterior tratamiento y disposición. Los fluidos separados



son reinyectados nuevamente abajo por la sarta de perforación para elevar más recortes.

La base de fluido más comúnmente usada en el proceso de perforación es el agua, seguida por aceites, aire, gas natural y espuma; cuando un líquido es usado como base del fluido ya sea agua o aceite se les llama "lodos". Los fluidos de perforación base agua son usados en una porción del 85% en los pozos perforados mundialmente.

Los fluidos base aceite son usados por ser mejores y todo el aceite se queda en los pozos.

Durante el proceso de perforación algunos lodos pueden perder permeabilidad en las formaciones subterráneas, para garantizar que los lodos siempre tengan una consistencia, siempre se mezcla lodo extra en la superficie y es almacenado en pozos o reservas de lodo para su uso inmediato; los pozos de reserva varían de tamaño dependiendo de la profundidad del pozo. Estos pozos pueden ser del tamaño de un acre en área y de 5 a 10 pies de profundidad; los pozos también son usados para surtir y suministrar agua, fluidos de desperdicio, formación de recortes, equipos de lavado y agua de lluvia para derrames.

1.3 FLUIDOS DE PERFORACION.

El propósito primario de los fluidos de perforación es el de remover los recortes del agujero, que son a su vez generados por la barrena y llevar éstos a la superficie. Los sólidos son más densos que el fluido, ya que ellos tienen que cumplir con la función de perforación y tienen que ser llevados arriba por el orificio anular.

Los aditivos usados para hacer más viscoso el fluido, son comúnmente usados para disminuir la velocidad necesaria. Los fluidos de perforación también ayudan en el control del pozo y previenen reventones.

Los reventones ocurren cuando la presión del fluido en el hoyo del pozo es menor que la presión del fluido en la formación. Los fluidos de la formación salen por el agujero del pozo hacia la superficie. Aun en la superficie no se pueden controlar estos fluidos y

ocurre una producción desenfrenada. La propiedad primaria que se requiere del fluido para el control del pozo es la densidad de los fluidos.

Los aditivos son comúnmente usados para aumentar la densidad del fluido, también los fluidos de perforación pueden retener en el pozo un colapso antes de que la cubierta de acero sea instalada y cementada en el agujero. La presión del fluido en contra de la formación a veces colapsa las paredes de la cavidad ocasionando con esto que las paredes tengan fisuras, existiendo el riesgo de un reventón. Los aditivos son frecuentemente usados para prevenir reacciones en la formación con los fluidos de base. Un tipo de reacción muy común es el hinchamiento.

ELEMENTOS DE COMPOSICIÓN DE LOS CONSTITUYENTES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION (mg/kg)							
ELEMENTO	AGUA	RECORTES	BARITA	ARCILLA	CROMO LINGOSULFATICO	LIGNITA	CAUSTICOS
ALUMINIO	0.3	40.400	40.400	88.600	6.700	6.700	0.013
ARSENICO	0.0005	3.9	34	3.9	10.1	10.1	0.039
BARIO	0.01	158	590.000	640	230	230	0.26
CALCIO	15	240.000	7.900	4.700	16.100	16.100	5.400
CADMIO	0.0001	0.08	6	0.5	0.2	0.2	0.0013
CROMO	0.001	183	183	8.02	40.030	65.3	0.00066
COBALTO	0.0002	2.9	3.8	2.9	5	5	0.00053
COBRE	0.003	22	49	8.18	22.9	22.9	0.039
HIERRO	0.5	21.900	12.950	37.500	7.220	7.220	0.04
PLOMO	0.003	37	685	27.1	5.4	5.4	0.004
MAGNESIO	4	23.300	3.900	69.800	5.040	5.040	17.800
MERCURIO	0.0001	0.12	4.1	0.12	0.2	0.2	5
NIQUEL	0.0005	15	3	15	11.6	11.6	0.09
POTACIO	2.2	13.500	660	2.400	3.000	460	51.400
SILICON	7	206.000	70.200	271.000	2.390	2.390	339
SODIO	6	3.040	3.04	11.000	71.000	2.400	500.000
ESTRONCIO	0.07	312	540	60.5	1030	1030	105

Tabla 1 f

Otra de las finalidades de los fluidos de perforación, consiste en refrigerar y lubricar la barrena de perforación en los cortes de la roca, lubricar la sarta de perforación y facilita el giro contra la formación; ésto prolonga la vida de la barrena y reduce el torque requerido en la mesa de rotación de la broca.

El agua es la base más común usada para los fluidos de perforación o lodos de perforación, porque esta no tiene propiedades físicas ni químicas necesarias para alterar el lodo de perforación (muchos aditivos son necesarios para alterar estas propiedades). Durante la perforación, los materiales de formación son agregados a los fluidos de perforación, los cuales alteran su composición y sus propiedades.



Los elementos típicos de composición constituidos base agua en los lodos de perforación se ven en la tabla 1-1.

1.3.1 CONTROL DE LA VISCOSIDAD

Como ya se dijo, una de las más importantes funciones de los fluidos de perforación, es llevar los recortes desde el fondo del pozo a la superficie donde éstos son removidos. Pero los recortes son más densos que el agua, por eso éstos se precipitan por la acción de la fuerza de gravedad.

La velocidad es controlada por la viscosidad del agua y el tamaño de los recortes, para satisfacer la velocidad de los recortes y decrecer el coeficiente del lodo en circulación, se le agrega agua viscosificante para incrementar su viscosidad.

El viscosificante más comúnmente usado es la arcilla hidratable, algunas arcillas como la maltita, consisten en partes moleculares con la pérdida de cationes entre ellos, tales como el sodio, si la arcilla es hidratada con el agua, tiene una concentración de cationes más baja que la concentración de equilibrio de catión entre la arcilla; la parte del catión puede ser intercambiada con las moléculas de agua porque las moléculas de agua son físicamente más grandes que los cationes.

La arcilla más comúnmente usada es la bentonita, esta arcilla esta compuesta en su mayor parte de sodio montmorillante y una variedad de esmactitas.

La mayoría de los fluidos de perforación tienen una composición del 3 % al 7% de bentonita por volumen.

Una dificultad con el uso de partículas de arcilla para el control de la viscosidad, es que éstos son usados como floculantes (aglomerantes). Cuando la floculación ocurre, la viscosidad del lodo debe aumentar significativamente, si la viscosidad llega a ser también alta, el lodo puede ser dificultoso para la bomba.



La floculación ocurre cuando las cargas electrostáticas, son permitidas para atraer otras partículas de arcilla, el índice de floculación aumenta con el contenido de arcilla y la concentración de electrolito (sal) en el lodo.

Una variedad de materiales son disponibles para suprimir la floculación de partículas de arcilla en los lodos de perforación, los defloculantes más comunes son: los fosfatos lignitos y lignosulfatos. Los cuales deben ser usados donde la concentración de sal y temperaturas son bajas.

Polímeros como la goma de xantán se utilizan para incrementar la viscosidad de los lodos de perforación.

1.3.2 CONTROL DE DENSIDAD

Otra función importante de los fluidos de perforación, es controlar la presión del fluido dentro del pozo, porque muchas formaciones tienen presiones hidrostática o sobrepresiones y la presión dentro del pozo debe mantenerse más alta que en la formación. La presión del pozo debe ser normalmente más alta que la presión hidrostática para prevenir que el pozo explote; la presión del fluido en el pozo es controlada por la variación de la densidad en los fluidos de perforación; la densidad es variada por la adición de sólidos pesados al fluido, esto también incrementa la densidad del fluido. Los materiales que tienen una alta gravedad específica son requeridos normalmente para obtener la densidad del lodo, el material más comúnmente usado para incrementar la densidad de los lodos de perforación es la barita (sulfato de bario, BaSO_4). La barita tiene una alta gravedad específica de 4.2, en algunos pozos se requiere muy altas densidades.

La barita puede constituir más del 35% de los diluidos de perforación por volumen, porque la alta gravedad específica de la barita controla la viscosidad de los aditivos.

Otros materiales que pueden ser usados para el control de la densidad de los fluidos de perforación, incluyen el carbonato de calcio, carbonato de hierro, ilmetita (FeO-TiO_2) y hematita (Fe_2O_3) estos materiales son más duros que la barita y por lo tanto pueden reciclarse mas veces, pues su tamaño casi no reduce entre inyección e inyección y tienen mas durabilidad.



Aunque éstos materiales tienen una baja gravedad específica como la barita, ellos proporcionan un beneficio a la baja concentración de bario en los lodos de perforación.

La Galena (PbS) puede también usarse, pero ésta contiene plomo para los lodos de perforación, y el plomo contamina demasiado los lodos.

Pérdida del Control de Circulación

Durante la perforación el fluido se pierde en la formación, así los fluidos se fugan a través del estrato permeable, para minimizar estas pérdidas, se agregan pequeñas partículas a los fluidos de perforación para que vayan filtrándose afuera de la cara de formación como un fluido perdido. Estas partículas forman entonces una permeabilidad baja en el enjarre esto limita futuras pérdidas del fluido.

En muchos casos las partículas agregadas a la arcilla, para el control de la viscosidad de los fluidos de perforación, son exitosas en el control de la pérdida de fluidos en la formación.

En algunas formaciones el tamaño del poro de las paredes del pozo puede ser más grande que las partículas de la arcilla y éstas son incapaces para extenderse en los poros y adherirse provocando que las partículas pequeñas no puedan pegarse en las paredes del agujero y salgan a la superficie por la sarta de perforación, haciendo más *lenta la perforación*.

Para limitar demasiadas pérdidas en las formaciones, se agregan sólidos grandes a los fluidos de perforación. Los sólidos usados comúnmente para esta aplicación, incluyen fibra de caña, tierra con cascara de nuez, plástico, azufre, perlita, celofán cascara de semilla de algodón y aserrín.

Si los sólidos no pueden ser usados para construir un filtro de enjarre, la viscosidad del fluido de perforación puede ser aumentada para limitar pérdidas del fluido. Se pueden emplear polímeros solubles al agua como fécula, sodio poliácrilático y sodio carboximetil celuloso.



1.3.3 CONTROL DEL PH

Un pH alto en el lodo entre el 9.5 y 10.5, es casi siempre deseado en las operaciones de perforación. Un pH alto suprime el índice de corrosión del equipo de perforación, minimiza la fragilidad del acero por la acción del hidrógeno, si el ácido sulfhídrico entra al lodo, un pH alto también beneficia a muchos nuevos aditivos orgánicos controladores de viscosidad. Para mantener el pH en el rango deseado se agrega cáusticos (hidróxido de sodio) al lodo y deben mantener las propiedades de estabilización de un pH bajo.

1.3.4 LUBRICANTES

Durante la perforación, hay un aumento considerable de la fricción que es generada entre la barrena de perforación y la pared del pozo, particularmente para pozos horizontales y desviados. Para reducir esta fricción, se agregan a veces lubricantes a los fluidos de perforación. Estos lubricantes son usados en la perforación y auxilian para mantener la integridad del pozo. Entre los lubricantes comunes se incluyen el aceite de diesel, aceites vegetales y minerales, cuentas de vidrio, pedazos de plástico, grasa de lana, grafito y glicerol. Si una sarta de perforación se vuelve dura en el pozo se hace circular un lubricante entre el pozo para liberar a ésta. Los fluidos deben ser formulados con diesel o aceite mineral, pero estos fluidos contaminan los recortes con un hidrocarburo, y la descarga u opciones de disposición para recortes es limitada en algunas áreas, los fluidos base agua son también disponibles.

1.3.5 INHIBIDORES DE CORROSION

La corrosión es causada comúnmente por los gases disueltos en los lodos de perforación, como: el oxígeno, dióxido de carbono o ácido sulfhídrico.

Una protección óptima, para los equipos de perforación, deberá incluir la eliminación de estos gases desde el lodo.



Una gran variedad de químicos son utilizados para inhibir la corrosión de los lodos de perforación. Estos aditivos son frecuentemente usados cuando el pH es mantenido en el rango deseado.

Los inhibidores de corrosión no quitan la corrosión, sin embargo reducen su índice a niveles aceptables.

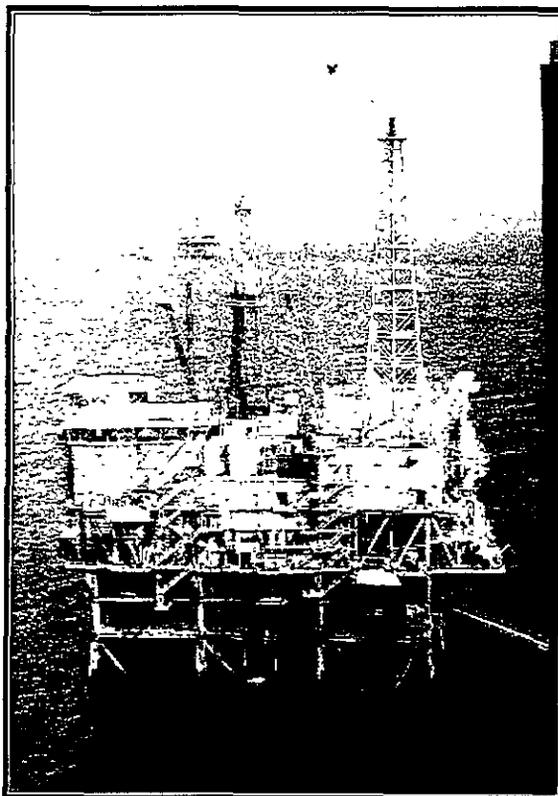


Foto 1.3.5 la sal es corrosiva para las estructuras de los pozos y plataformas, los equipos de perforación también sufren esta degradación en las tuberías.

El Ácido Etileno Diamin Tetracético (EDTA) es utilizado a veces para disolver los productos de la corrosión en tuberías.

Los inhibidores orgánicos, solubles en aceite, son aplicados cada 10 horas y reducen exitosamente la corrosión por oxígeno. Este inhibidor es un poderoso absorbente en



arcillas y recortes, de cualquier modo aumenta la cantidad de inhibidor requerido. Los inhibidores de corrosión orgánicos solubles al agua pueden no ser efectivos para controlar la corrosión por oxígeno, aunque éstos puedan ser usados para reducir el ácido sulfúrico en el pozo, en la ausencia de oxígeno.

1.3.6 BIOCIDAS

El azufre reduce las bacterias que se crían en muchos lodos de perforación, particularmente éstos contienen, almidones y aditivos de polímeros, esas bacterias degradan al lodo y pueden entrar a la formación donde éstos pueden acidificar el fondo (generando ácido sulfúrico en gas). El ácido sulfúrico provoca corrosión en el equipo de perforación donde estén presentes los lodos de perforación. Para prevenir que estas bacterias puedan cultivarse, se agrega biocidas a los fluidos de perforación. Entre los biocidas más comunes están los paraformaldeidos, clorinatos de fenol isotiasolin y glutaldeídos. Los dos últimos tienen baja toxicidad y son reemplazados por los primeros 2 por su calidad.

Daños al control de la formación

Muchas formaciones contienen arcillas activadas, las cuales se hinchan al contacto con el agua fresca. Este hinchamiento de arcillas puede tapar los poros de la pared del pozo, ocasionando una baja permeabilidad, gastando así mas lodo, o puede acumular arcilla fina alrededor del agujero, impidiendo que el lodo penetre en los poros.

Para prevenir estas reacciones, comúnmente se le agregan sales a los fluidos de perforación, éstas sales evitan que las moléculas de agua se cambien con los cationes de arcilla. Las sales comúnmente usadas son el cloruro de sodio y el cloruro de potasio; el carbonato de potasio, al igual que los lodos estabilizadores de lutitas basados en glicoles puede también usarse.

Un problema relativo durante la perforación son los recortes, ya que pueden acumularse alrededor de la barrena, formando una pasta de goma, la cual reduce la velocidad de perforación, porque ésta no es fácilmente removida por la barrena ni por los fluidos de perforación.



Los lodos copolímeros/poliglucol también se pueden usar exitosamente para evitar el acumulamiento de lodo en la barrena. Si el pozo es perforado a través de un domo salino, un lodo base agua se puede saturar de sales a base de cloruros.

1.3.7 FLUIDOS DE PERFORACION BASE ACEITE

Varios fluidos orgánicos son también usados como base para lodos de perforación, en algunos casos las propiedades de estos lodos base aceite son superiores que los lodos base agua, de cualquier forma, estos fluidos orgánicos no tienen todas las propiedades físicas y químicas necesarias para todos los requerimientos de un lodo de perforación; así, también se agregan varios aditivos.

Los lodos base aceite son frecuentemente preferidos para altas temperaturas en los pozos. En los pozos con temperaturas cercanas a 300°F(150°C) y con temperaturas arriba de este nivel, muchos de los aditivos base agua se cortan. Sin embargo, lodos base aceite son también usados en los pozos, conteniendo minerales sensibles al agua, por ejemplo: sal, anhídrida, potasio, yeso, o arcillas hidratables y arcilla fina.

Usando un reactivo en un lodo base aceite en la formación, puede reducir las posibilidades de un derrumbe en un 20%. Reduciendo la cantidad de derrumbes, se reduce también el volumen de los recortes de perforación, y se puede disponer del volumen de los fluidos de perforación requeridos para la barrena en el agujero. Si se usa lodo base aceite también se limita la degradación y la contaminación de recortes contra partículas pequeñas, para mejorar el control de la separación de los sólidos desde los fluidos de perforación.

Los lodos base aceite también se usan en pozos que contienen gases reactivos como el CO₂ o H₂S. Cuando los lodos base aceite continua son usados, la corrosión es minimizada, porque la fase de aceite no permite actuar como electrolito. Estos gases son los principales contribuyentes en la corrosión de los equipos de perforación, en los sistemas de lodos base agua.



Otra aplicación de los lodos base aceite, es requerida muy usualmente en los pozos con altos niveles de lubricación entre la tubería de perforación y la formación.

Los lodos base aceite son generalmente más caros que los base agua y tiene un gran impacto potencial adverso al medio ambiente. Entre los beneficios de los lodos base aceite, están los significativos ahorros en los costos de perforación de un pozo. Porque por sus propiedades superiores, permiten a menudo terminar rápidamente un pozo. Aunque los lodos base aceite son más caros, son también muy usados, probablemente por ser de fácil reciclados y reusados que los de base agua.



1.3.8 METALES PESADOS

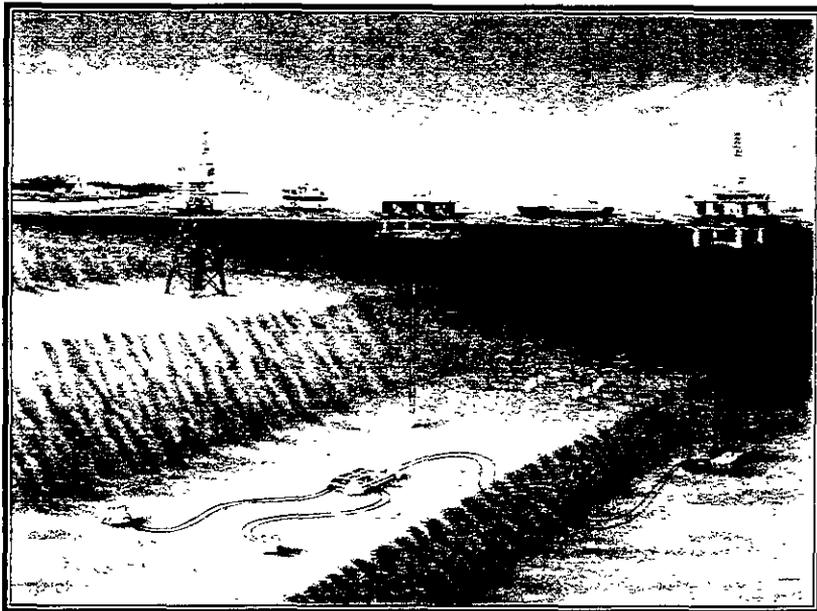


Foto 1.3.8 perforación costa afuera: se le llama así al tipo de perforación que se realiza mar adentro o fuera de la costa, la transportación de los lodos y fluidos de perforación así como los desechos, son costosos

Los metales pesados pueden entrar en los fluidos de perforación en 2 formas: muchos de los metales se encuentran naturalmente en las formaciones y éstos se incorporan dentro de los fluidos de perforación; otros metales son agregados a los fluidos de perforación, como parte de los aditivos que se encuentran para alterar las propiedades de los fluidos. Los metales más comúnmente encontrados son: el bario (que se encuentra en la barita como agente pesado) y el cromo que se encuentra en los defloculantes de cromo-lignosulfato. Los metales pesados naturales se encuentran mas en rocas y tierra, aunque su concentración es relativamente baja.

El cromo es otro constituyente importante por los aditivos de lodos particularmente los defloculantes basados en cromo. El cromo en la forma hexavalente es tóxico y puede usarse como gel controlador de thiner a altas temperaturas como estabilizador, como dispersante, como biocida y como anticorrosivo además de ser muy confiable.



1.4 FUENTES DE DESECHO

Al hacer la conexión, primero se levanta la flecha hasta una posición adecuada en la cual la sarta estará soportada por unas cuñas, luego se desconecta la flecha y como ésta contiene fluido en su interior, éste es derramado al piso de perforación. Además, en cada conexión, a la rosca del tubo se le agrega grasa para sellar la unión.

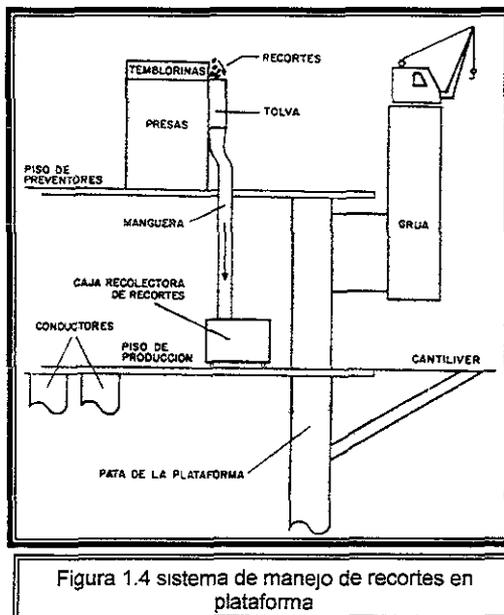


Figura 1.4 sistema de manejo de recortes en plataforma

Cambio del Fluido de Perforación.

El cambio de tipo de fluido de perforación es necesario al perforar un pozo, para penetrar a nuevas formaciones, que varíen en las propiedades litológicas de la formación o por necesidades de control de la estabilidad del agujero.

En estos trabajos, parte de los fluidos contenidos tanto en las presas y en el abastecedor (camión o buque tanque según el caso) son desechados, debido a que se limpia el residuo.



Tratamiento y Acondicionamiento de Fluidos.

Los fluidos de perforación, terminación y acondicionamiento de pozos, 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.

Durante esta operación, se adicionan materiales y aditivos, así como fluidos para restablecer propiedades deseables para su buen funcionamiento.

Como las presas se encuentran llenas de lodo contaminado, al adicionar 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, materiales y aditivos químicos durante su manejo son desechados.

Limpieza del Equipo y Piso de Perforación.

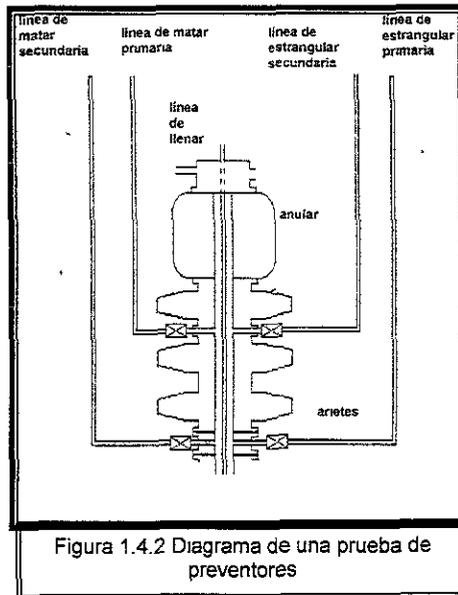
La limpieza del equipo de perforación y el piso del mismo, se realiza a menudo, con la finalidad de mantenerse libres de residuos de lodo, grasas, lubricantes, etc., tanto el equipo, herramientas y áreas de trabajo también deben estar limpios, como medida de seguridad.

Al realizar los trabajos de limpieza, 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.

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 del 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 es necesario su eliminación para evitar contaminar el nuevo lodo. Como se encuentra una muy alta cantidad de sólidos asentados éste es un material que no es reutilizado.

Introducción y Cementación de Tubería de Revestimiento (T.R.).

Después de haber perforado un cierto intervalo, es necesario probarlo con el propósito de aislar zonas no deseables y mantener el control del pozo. Esta operación se realiza introduciendo tubería de revestimiento a una profundidad previamente seleccionada, posteriormente se inyecta una lechada de cemento para su adherencia con la formación. Sin embargo, es necesario triturar el cemento que haya quedado en el fondo del pozo a fin de continuar con la perforación de la siguiente etapa. Durante la molienda, la mezcla



de cemento, lodo y residuos metálicos de accesorios de T.R., son desechados debido a que sale completamente contaminada y alterarían las propiedades del lodo de perforación si se incorpora en él.

Pruebas de Tubería de Revestimiento (T.R.) y Preventores.

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 (fig 1.4.2).



Durante estos trabajos, se observan en ocasiones fugas de fluidos en las uniones del sistema de control superficial. Los volúmenes arrojados al realizar las pruebas están en función de la eficiencia del equipo y de las condiciones de la operación, difícil de cuantificar.

Mantenimiento a Máquinas.

Aún cuando los residuos de aceites, combustibles y grasas que se derraman son relativamente pocos, al darles mantenimiento a las máquinas, malacates, bombas y otros equipos auxiliares propios en un equipo de perforación, éstos son sumamente tóxicos.

Fugas en Conexiones Superficiales.

Durante las operaciones de perforación, terminación y reparación de pozos, se observan 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.

Estimulación de Pozos.

Una de las actividades 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.

La magnitud de la operación depende de las características de la formación productora, de la historia de producción del pozo, de la matriz rocosa y de los fluidos contenidos en la formación.

Por lo anterior, se efectúan pruebas de compatibilidad del ácido con los hidrocarburos del yacimiento, para definir la reacción y dosificar adecuadamente la cantidad de ácido.



Al inyectar el ácido a la formación, éste 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 de permanencia del ácido se abre el pozo para que regresen los fluidos inyectados, arrojando una mezcla, compuesta por ácido desgastado, sedimentos, hidrocarburos y fluidos de control hacia 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.

Inducción de pozo.

Una vez intervenido un pozo, o en su arranque a producción, estos son inducidos para que arrojen los hidrocarburos a la superficie, inyectando al pozo fluidos de bajo peso específico (espumas, nitrógeno, etc.) para aligerar la columna hidrostática.

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

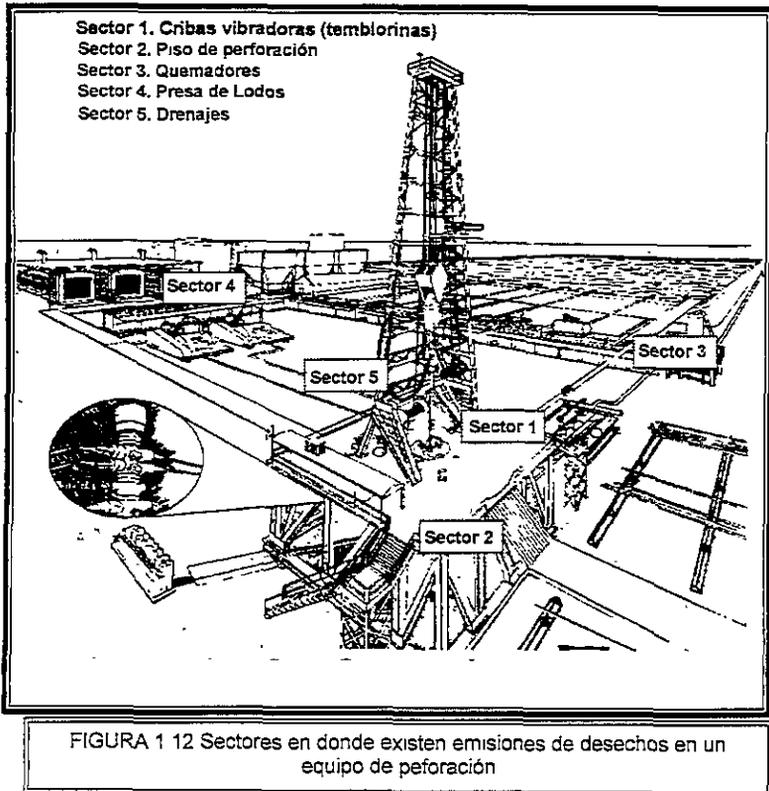
Tapones de Sal.

Al intervenir un pozo para realizar operaciones de reparación del mismo, muchas veces es requerido el control mediante taponamiento en la zona productora, utilizando un obturante fácil de remover y que no genere daño alguno a la formación. Para lo 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, ésta diluye la sal reduciendo la concentración de la salmuera.



1.5 FUENTES EMISORAS

Existen seis sectores fundamentales en donde se desechan los contaminantes durante las operaciones de perforación, terminación y reparación de pozos en los equipos dedicados a estas actividades (fig. 1.2), los cuales son:





Sector 1: El área en torno a las cribas vibratoras o "temblorinas", junto con los equipos de control de sólidos instalados en las presas de lodos, cuando se usan fluidos de perforación.

Sector 2: El área del piso de perforación. Siendo la superficie de trabajo manual directa, (es decir, donde los trabajadores tiene que conectar manualmente las tuberías) en donde se conecta y desconecta la tubería, es en donde existen derrames continuos de fluido de perforación.

Sector 3: El área de los quemadores: Ciertos efluentes provenientes del pozo debido a su bajo grado de ignición, a la presión con que salen, al no atomizarse por baja eficiencia del quemador u otros factores, no se logran quemar y por tanto se vierten.

Sector 4: El área en torno a las presas de lodos: propiamente las secciones de drene. Durante el llenado y vaciado de las presas y sobre todo en su limpieza, cuando se realiza cambio de lodo se ocasionan derrames considerables de fluido.

Sector 5: Drenes de aguas aceitosas: provenientes de máquinas y bombas de lodos y drenes de agua pluvial.

Sector 6: Areas de carga y descarga de materiales.

Por tanto, evitando los vertimientos(verter o derramar) de recortes de formación impregnados de lodos, controlando los fluidos derramados en el piso de perforación, evitando el tirar lodos tóxicos desde las presas, aumentando la eficiencia del sistema de quemar, dirigiendo las aguas aceitosas hacia un equipo de separación agua- aceite y evitando los vertimientos durante carga y descarga de materiales, se logrará minimizar la contaminación de un equipo de perforación o reparación, al grado de ser una planta operativa que no genera impacto ecológico negativo y aceptable dentro de los lineamientos más rígidos internacionalmente establecidos.

Para solucionar los vertimientos de desechos, será necesario implantar medidas preventivas y medidas correctivas. Las primeras, enfocadas a eliminar o minimizar situaciones que podrían ocasionar la generación de residuos, y las segundas al control, manejo y disposición de los desechos que son inevitables. Para esto, será necesario implementar accesorios y herramientas, así como adaptar equipos, sistemas de drenaje y nuevas adecuaciones, de tal forma que se controle y maneje los desperdicios.



El personal operativo debe tener conocimiento de las nuevas implantaciones y saber como emplearlas, y además, debe estar consciente que sin el correcto uso de esto y su total colaboración, no será posible lograr el fin deseado. Para lo cual, es necesario implantar campanas de sensibilización que conjunte la explicación técnica de las adecuaciones, su importancia para el bien ecológico y la responsabilidad del trabajador. Para tener éxito en la implantación de un nuevo sistema de trabajo, ya sea por adición de equipos y herramientas, por implantación de nuevas políticas, por cambios en comportamientos personales, u otros aspectos, es necesaria la total colaboración del personal directivo y operativo.

1.6 DESECHOS GENERADOS DURANTE LA PERFORACIÓN, REPARACIÓN Y TERMINACIÓN DE POZOS.

Con el fin de tener identificadas las emisiones contaminantes durante las operaciones de perforación, reparación y terminación de pozos petroleros, se procede a describir todo tipo de desecho que se genera durante estas actividades.

Por conveniencia en la clasificación de los desechos con respecto a su grado de afectación, se ha considerado dentro del código de clasificación CRETIB (corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos, inflamables y biológicos infecciosos) únicamente el *concepto toxicidad como el grado de afectación, esto es debido a que las evaluaciones, como son la prueba del bioensayo o comúnmente conocida como LC50, han sido ampliamente utilizadas y aceptadas dentro de la evaluación en la afectación de los desechos producidos en los equipos de perforación.*

Por otro lado, no se tiene suficiente respaldo técnico para poder incluir los demás conceptos del código CRETIB, por tanto cuando se hable de grados de afectación, de impacto ambiental, etc., será siempre referido al concepto de toxicidad.



También se encuentra acotado este estudio a desechos sólidos, líquidos y en ciertas ocasiones a polvos, no se tratarán emisiones de gases, efectos por ruidos, visuales u otro tipo de impacto ambiental.

Descripción de los Desechos.

Recortes de Formación. Dependiendo de las características de la formación perforada, lógicamente es el tipo de recorte de ella. Siendo lutitas, areniscas, arenas, dolomitas, calizas, sales, etc. así como combinaciones.

El principal problema, es el contenido de materiales no permisibles de verter, por ejemplo: Cadmio u otro metal, para poder ser catalogado como no contaminante.

Ai estar en contacto con el fluido de perforación, la clasificación del recorte impregnado con éste último dentro del marco de toxicidad dependerá de la adición de las características de ambos (recorte + lodo)

Fluidos de Perforación. El tipo de fluido empleado dependerá principalmente de las características de la formación por perforar, se puede clasificar en dos grandes ramas: fluidos base agua y fluidos base aceite, siendo los de mayor toxicidad los segundos. Dado que son verdaderos sistemas, los componentes que los conforman son muchos y el contenido es a su vez variado.

Lista de Componentes de un Fluido de Perforación

Fase continua: agua (dulce o salmuera) o aceite (diesel o vegetal)

- Sulfato de bario (barita)
- bentonita
- Cloruro de potasio
- Cloruro de calcio
- Cloruro de sodio
- Sulfato de calcio (yeso)
- Hidróxido de calcio (cal)
- Hidróxido de Sodio (Sosa)
- Carbonato de sodio
- Bicarbonato de sodio
- Cromolignosulfonato de sodio



- Cromolignosulfonato de potasio
- Lignosulfonato de sodio
- Lignosulfonato de hierro
- Lignosulfonato de potasio
- Lignosulfonato de calcio
- Lignitos modificados
- Cromolignitos
- Goma Xantana
- Carboximetil celulosa
- Polímeros sintéticos
- Polímero reductor de filtrado
- Alcohól octílico
- Agentes tensoactivos hidrofílicos
- Agentes tensoactivos lipofílicos
- Poliacrilato de sodio
- Asfaltos modificados
- Gilsonitas, naturales y modificadas
- Arcillas organofílicas
- Carbonato de calcio
- Supresores de hidratación de arcillas
- Viscosificantes para alta temperatura

Cementos. En lechadas y en poivo, producto de desecho de la cementación de las tuberías de revestimiento y taponamientos en el pozo, siendo el tipo Portland (en sus variados grados: H, G, etc.) el más empleado.

Metales. Residuos metálicos (tramos de tubos, tambos, herramientas, etc.) desechados, con diverso grado de oxidación y tipo de metal.

Grasas. Derrames de grasas, principalmente inorgánica, empleadas en la lubricación de los equipos en general y en las conexiones de tuberías.

Ácidos. Empleado para la estimulación del pozo (diluir la matriz rocosa), principalmente clorhídrico en diferentes concentraciones como producto de desecho, el cual se encontrará con cierto grado de desgaste (menor concentración que la formulación original).



Hidrocarburos. Desechos de pruebas y monitoreos en el pozo durante la evaluación de la formación del contenido de hidrocarburos. Dependerá del tipo, peso específico e índice de ignición, así como de la calidad y capacidad del equipo de quemado, la cantidad de hidrocarburos que se deseche al medio ambiente.

Polvos. Cementos, baritas, bentonitas, sales, sosa, y demás productos fáciles de volatilizar. No contemplando a los ya incorporados en el fluido de perforación y lechadas de cemento, debido a que las reacciones y efectos son diferentes.

Espumas. Surfactantes empleados para aligerar las columnas hidrostáticas que después de emplearse no son reciclables y se convierten en desecho.

Salmueras. Diluciones de cloruro, generalmente de sodio desechados al aplicar taponamientos de sal en las operaciones de reparación del pozo. Diversa concentración en función del volumen de sal y agua de dilución.

CAPITULO II

REGLAMENTACION

La vida es una oportunidad: *aprovéchala*
La vida es hermosura: *admírala*
La vida es felicidad: *saboréalo*
La vida es un sueño: *realízalo*
La vida es un desafío: *acéptalo*
La vida es un deber: *cúmplelo*
La vida es un juego: *gánalo*
La vida es un tesoro: *cúidalo*
La vida es un misterio: *descúbrello*
La vida es una riqueza: *aprovéchala*
La vida es amor: *disfrútalo*
La vida es una promesa: *cúmplela*
La vida es un himno: *cántala*
La vida es una lucha: *gánala*
La vida es una tragedia: *hazle frente*
La vida es una aventura: *arriésgate*
La vida es vida: *defiéndela*.

Madre Teresa de Calcuta



2.1 REGLAMENTACION

Con la finalidad de conocer la normatividad aplicada internacionalmente, se efectuó un monitoreo de las leyes ambientales que rigen la disposición de residuos contaminantes en las distintas áreas donde se desarrollan actividades relacionadas con la exploración y desarrollo de campos de explotación de hidrocarburos, tal es el caso de:

- Estados Unidos de América (EEUU)
- Canadá
- Holanda
- Noruega
- Reino Unido

Para el caso de México se analizó la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente en su última edición (Novena Edición Actualizada), Publicada en el año de 1994, en las normas correspondientes a:

- Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y a la Protección al Medio Ambiente en materia de Residuos Peligrosos.
- Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas.
- Decreto de la promulgación en los Acuerdos de Cooperación Ambiental y Laboral de América del Norte.

2.1.1 REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE (LGEEPA)

Esta Ley es reglamentaria a las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, referidas a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección del ambiente, en el Territorio Nacional y en las zonas sobre las que



la Nación ejerce su soberanía y jurisdicción, y su objetivo es establecer las bases para definir:

- Los principios de la política ecológica general y la regulación de los instrumentos para su aplicación.
- El ordenamiento ecológico, la prevención, restauración y mejoramiento del ambiente.
- La protección de las áreas naturales, la flora y la fauna.
- El aprovechamiento racional de los elementos naturales.
- La prevención y el control de la contaminación del aire y del suelo.
- La concurrencia del gobierno federal con las entidades federativas, municipios diversas dependencias y la participación de la sociedad.

Es de la competencia de la SEMARNAP entre otras atribuciones:

- Formular y conducir la política general de ecología.
- Aplicar esta ley, sus reglamentos y Normas Técnicas Ecológicas que se expidan, y vigilar su observancia.
- Formular, proponer, desarrollar y vigilar el cumplimiento de programas, criterios ecológicos, Normas Técnicas Ecológicas, etc. Que aseguren la preservación, restauración y control del equilibrio ecológico, y propicien el manejo integral de los recursos naturales.
- Evaluar el Impacto Ambiental en las actividades que así lo requieran.
- Proponer a la Federación las disposiciones que regulen las actividades relacionadas con materiales y residuos peligrosos.
- Determinar la aplicación de tecnologías que reduzcan las emisiones contaminantes.

2.1.2 REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE EN MATERIA DE RESIDUOS PELIGROSOS.

Disposiciones generales

Rige en todo el territorio nacional y las zonas donde la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

**Es competencia de la secretaria:**

- Determinar y publicar los listados de residuos peligrosos. Expedir las Normas Técnicas Ecológicas y procedimientos para el manejo de los residuos peligrosos.
- Controlar el manejo de los residuos generados durante los procesos y operaciones de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, y de servicios.
- Evaluar el Impacto Ambiental, fomentar, autorizar, controlar y vigilar la construcción y operación de las instalaciones de tratamiento, reciclamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos.
- Promover y fomentar la participación del sector educativo, social y productivo en el desarrollo de actividades y procedimientos que coadyuven a la reducción de la generación de residuos, su adecuado manejo, reuso, regeneración, o disposición final.

Serán responsables del cumplimiento de las disposiciones del reglamento y de las normas técnicas aplicables, los generadores de los residuos, así como las personas físicas o morales, públicas o privadas que manejen, importen o exporten dichos residuos, para lo cual, los generadores están obligados a determinar si éstos son o no peligrosos.

El generador de residuos peligrosos deberá:

- Inscribirse en el registro que establezca la Secretaría.
- Llevar una bitácora mensual sobre la generación, almacenamiento, y disposición final de éstos.
- Dar a los residuos el manejo, envasado, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final adecuado de acuerdo a lo que el propio reglamento establece.
- Identificar adecuadamente sus residuos, manejar separadamente los incompatibles y enviar mensualmente a la Secretaría el informe sobre sus movimientos que se hubieren efectuado durante dicho periodo.



Del manejo de residuos peligrosos

Se entiende por manejo el conjunto de operaciones que incluyen el almacenamiento, recolección, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final de los residuos peligrosos.

En los casos de instalaciones de tratamiento, reciclaje, incineración o disposición final, se requiere de la autorización previa de la Secretaría, la Manifestación del Impacto Ambiental y los programas de capacitación y de contingencias.

Para el almacenamiento y transporte se requiere que se reúnan las condiciones de seguridad necesarias de envasado, de acuerdo a la peligrosidad, estado físico, y compatibilidad, para evitar que no sufran alguna pérdida o fuga y eliminar la exposición de los operarios al residuo.

Las áreas de almacenamiento deberán reunir entre otras, las siguientes condiciones:

- Estar separadas de las áreas de producción, almacenamiento de materias primas o productos y servicios, y evitar o reducir los riesgos de fugas, derrames, incendios explosiones o emisiones.
- Contar con muros de contención, pisos impermeabilizados y pasillos suficientemente amplios para permitir el tránsito de montacargas mecánicas o el movimiento de grupos de seguridad.
- Contar con señalamientos, sistemas eléctricos de seguridad, sistemas de alarma audible, ventilación, etc. Dependiendo del tipo y volumen de residuos almacenados.

Para transportar residuos peligrosos se deberá contar con la autorización de la Secretaría y por cada volumen de transporte el generador deberá entregar al transportista un manifiesto, el cual deberá conservarse durante diez años y debe especificar lo siguiente:



- (a) Obligaciones de los transportistas: permisos, informes, sistemas de seguridad y condiciones de los Vehículos(para tener seguridad en el manejo de residuos).
- (b) Obligaciones para quienes realicen actividades de tratamiento y disposición final, así como las condiciones de los sitios de disposición final, así como las condiciones de los sitios de disposición o confinamiento.
- (c) Condiciones de construcción y operación del confinamiento y del tratamiento, incineración o reciclaje.
- (d) Métodos de comunicación y acciones en caso de accidentes o contingencias debidas al manejo de residuos peligrosos, así como la responsabilidad contraída.

De las medidas del control, seguridad y sanciones

Las infracciones de carácter administrativo serán penalizadas con una o más de las siguientes sanciones:

Multas hasta por el equivalente a veinte mil días de salario mínimo, clausura temporal o definitiva, parcial o total y/o arresto administrativo hasta por treinta y seis horas, la revocación de las autoridades concedidas y el incremento de las sanciones impuestas en los casos de reincidencia.

Legislación ambiental en materia de impacto ambiental

El presente instrumento legal, obliga a todas aquellas personas físicas o morales y al sector publico que pretenda realizar actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones señaladas en los reglamentos y las normas técnicas ecológicas emitidas por la federación, para proteger el equilibrio ecológico y el ambiente, a solicitar previamente la autorización de la Secretaría.

Dicha autorización derivará de la presentación de la información sobre las características de las actividades a desarrollar durante las fases de adecuación construcción, operación y desalojo del proyecto, bajo las guías que la propia dependencia ha implementado:



Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) en la modalidad General, Intermedia o Específica que dependa del impacto o magnitud de las obras.

En materia de residuos peligrosos.

Este reglamento tiene por objeto regular las actividades de generación, almacenamiento, manejo, transportación, tratamiento, incineración, reuso y/o la disposición final del residuo peligroso. Para tal efecto, el Ejecutivo Federal a través de la Secretaría, compete la emisión de los listados de residuos peligrosos, las Normas Oficiales Mexicanas que regulan el manejo de éstos, autorizar y supervisar la instalación, construcción y operación de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento, reciclaje, incineración, disposición final, etc.

Igualmente, obliga a las empresas generadoras, transportistas, etc., a presentar periódicamente la información que sobre estas actividades se genere, a través de la presentación en diversos formatos. Crea así mismo, la metodología sobre las características de ciertas cavidades. Por ejemplo: la implementación de Bitácoras para el manejo de los residuos, las condiciones que deben reunir las áreas de almacenamiento, las de transporte y disposición final.

2.1.3 REGLAMENTO PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS.

Para el cumplimiento de este reglamento, los responsables de las descargas de aguas residuales se encuentran obligados en los términos que se indican, a realizar un registro de sus descargas, cumplir con los límites máximos permisibles por las Normas Técnicas Ecológicas o por las condiciones particulares de descarga que les sean fijadas por la autoridad responsable.

Desde la publicación de este instrumento legal, el día 29 de Marzo de 1973, se indicaba ya la obligación de realizar el pago de cuotas que como derechos que determinarían la



autoridad para cubrir los costos de operación del tratamiento de las aguas residuales, que no cumplieran con los máximos tolerables fijados en los parámetros de la tabla 1 del mismo reglamento (tabla 2.1), las Normas Técnicas Ecológicas o por las condiciones particulares de descarga fijadas.

Registro de descarga

Autoridad Responsable: En los casos en que las aguas residuales se efectúen en algún cuerpo receptor (Ríos, Lagos, Lagunas, Mar, Canal, etc.) o se infiltren, la responsabilidad recae en la Comisión nacional del Agua (CNA).

Base Legal: De acuerdo al artículo 7 del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación, publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 9 de marzo de 1973 y vigente a la fecha.

Casos en que Debe Solicitarse: Están obligados los responsables de establecimientos, servicios o instalaciones públicas o privadas que originen o motiven descarga de aguas residuales con excepción de las provenientes de usos puramente domésticos.

Características: Es menester realizar un registro de descarga por cada uno de los sitios de descarga existentes, siendo un trámite único, a menos que cambien las condiciones bajo las cuales fue otorgado, como la reubicación de la descarga, cambios en las características de carga contaminante, volumen, etc., para los casos de registros ante la CNA, el presente trámite causa el pago de derechos correspondientes en el cual se determina por el volumen de la descarga, las condiciones de descarga contaminante (DQO y SST) y la clasificación de zona de disponibilidad. Se exige del pago de este derecho a las descargas que comprueben que las mismas se realizan por debajo de las concentraciones de contaminantes permisibles (ley Federal de Derechos en materia de Agua publicado en el Diario Oficial el 26 de Diciembre de 1990).



Periodicidad: Este trámite, como ya se mencionó, único, siempre y cuando las características de la descarga no varíen. El pago que se deriva del registro ante la CNA es trimestral.

2.2 MANIFIESTO PARA EMPRESAS GENERADORAS DE RESIDUOS PELIGROSOS

Autoridad Responsable: SEMARNAP a través de la subdirección de Residuos de la Dirección General de Normatividad Ambiental.

Base Legal: Arts. 28 y 29 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y Arts 7 y 8 del reglamento de esta misma Ley en Materia de Residuos Peligrosos.

Casos en que debe solicitarse: Aplica para toda aquella empresa o actividad que genere residuos peligrosos y/o quienes pretendan realizar obras o actividades públicas o privadas, por las que puedan generarse o manejarse residuos peligrosos.

Características Principales: deberán presentarse tantos manifiestos como tipos de residuos se identifiquen en la industria, básicamente se proporciona información general de las condiciones bajo las cuales este se genera, volúmenes producidos y manejo que se le da dentro de la empresa productora.

Periodicidad: Es un trámite único, el cual deberá ser actualizado en caso de que la información presentada varíe.

Reporte semestral de residuos peligrosos enviados para su recicló, tratamiento, incineración o confinamiento.- Las empresas generadoras de residuos deberán presentar en los meses de enero y julio el reporte de los residuos que han salido de sus instalaciones.

Manifiesto de entrega, transporte y recepción de residuos peligrosos.- La empresa que ofrece el servicio de transportación, está obligada a entregar este reporte a las empresas generadoras del residuo.



Reporte mensual de residuos peligrosos confinados en sitios de disposición final.

Requisito aplicable a aquellas empresas que ofrecen este servicio.

Limites de descargas permitidos de desechos contaminantes

De esta revisión se encontró que no existe normatividad específica aplicable a plataformas, pero si hay un reglamento que resultó de la adopción del convenio sobre la prevención de la contaminación en el mar por el vertimiento de desechos y otras materias, encontrando que:

En resumen, el reglamento prohíbe el vertimiento de los siguientes desechos:

- Compuestos Orgánicos Halogenados
- Petróleo Crudo
- Diesel
- Aceites Lubricantes
- Fluidos hidráulicos
- Mezclas que contengan hidrocarburos
- Plásticos y demás materiales persistentes
- Materiales de alto nivel aditivo, etc.

La prohibición no se aplica a sustancias que se transforman rápidamente en el mar, en sustancias inocuas mediante procesos físicos, químicos o biológicos, se aplican siempre que:

- a) Den mal sabor a la carne de los organismos marinos comestibles
- b) Pongan en peligro la salud del hombre o animales domésticos

Se requiere un permiso especial expedido por la Secretaria de Marina para vertir los siguientes desechos:

- Arsénico



- Cadmio y compuestos de cadmio
- Mercurio y compuestos de mercurio
- Cobre y sus compuestos como hexavalente
- Detergentes
- Níquel
- Zinc
- Cianuro
- Amoniaco

Este permiso deberá sujetarse a las concentraciones máximas permitidas de estos compuestos en las aguas costeras, tablas 2 a 7 del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas (tabla 2.2), es decir, que al verter el contaminante no se altere la concentración establecida.

Valores máximos tolerables de desechos contaminantes en aguas residuales

Parámetro	Valor máximo permitido
Sólidos sedimentables	1mg/l
Grasas y aceites	70 mg/l
Material flotante	Ninguna puede ser retenida por maya de 3 mm de claro libre cuadrado.
Temperatura	35°C

Tabla 2.1 valores máximos tolerables de desechos contaminantes en aguas residuales



parámetro	Valor máximo permitido mg/l
Arsénico como As	0.1
Cadmio	0.001
Cobre y compuestos de cobre	0.005
Cromo hexavalente	0.001
Mercurio y compuestos de Mercurio	0.0005
Detergentes	0.001
Níquel	0.008
Zinc	0.01
Cianuro	0.001
Amoniaco	0.1

Tabla 2.2 Valores máximos permisibles de sustancias tóxicas en aguas costeras

2.3 CODIGO DE REGLAMENTACIONES FEDERALES NUMERO 40, PARTES 423-699 DE LA AGENCIA DE PROTECCION AMBIENTAL DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA DEL NORTE

La reglamentación de la Agencia de Protección del medio ambiente en los Estados Unidos de Norteamérica, aplicable en las costas del Golfo de México, establece lo siguiente:

Los códigos y reglamentación federales (CFR 40, partes 423 a 699), describen en términos generales los lineamientos y límites de descarga de contaminantes.

En la parte 435 se describe la reglamentación aplicable para las operaciones de exploración, perforación, producción y reparación de pozos petroleros, por lo que es la



porción a la que se le da mayor énfasis, ya que es aquí donde se establecen los límites actualmente empleados para el control de descarga de desechos contaminantes.

El resumen de estas limitaciones de descargas para plataformas costa afuera es el siguiente:

Se prohíbe la descarga de fluidos de perforación, terminación y reparación de pozos que:

- Tengan una toxicidad LC_{50} , menor o igual a 30,000ppm en base a la fase de sólidos suspendidos.
- Fluidos base aceite (Emulsión Inversa) o que contengan aceite diesel.
- Fluidos que contengan aceite usado para la lubricación de maquinaria.

Se prohíbe la descarga de recortes generados con los fluidos de perforación previamente mencionados.

Se prohíbe la descarga de aceite diesel e hidrocarburos.

La concentración límite de grasa y aceite en la descarga del drenaje de agua producida debe ser de 42 mg/l para cualquier día y 29 mg/l como promedio en 30 días consecutivos.

Las concentraciones límites de mercurio y cadmio presentes en la barita empleada para densificar los fluidos, no deben exceder de 1.0 y 3.0 mg/kg. respectivamente.

La reglamentación aplicada por la EPA se presenta de manera resumida en la tabla 2.4



FUENTE	PARAMETRO DEL CONTAMINANTE	LIMITE PERMITIDO
Fluidos y recortes de perforación	Toxicidad	Se prohíbe su desecho a aquellos que tengan un LC ₅₀ menor o igual a 30,000ppm de spp.
	Aceite libre	No debe eliminarse
	Aceite Diesel	No debe descargarse
	Mercurio	1 mg/kg. en la barita
	Cadmio	3 mg/kg. en la barita
Agua producida	Aceite y grasa	El máximo para un día es de 42 mg/l y para 30 días consecutivos es de 29 mg/l
Fluidos de terminación, y reparación de pozos	Aceite y grasa	El máximo para un día es de 42 mg/l y para 30 días consecutivos es de 29 mg/l.

Tabla 2.4 Concentraciones límites de desechos contaminantes permitidos por la EPA

2.4 REGLAMENTACION APLICABLE EN EL MAR DEL NORTE

Se analizó la reglamentación de Noruega y el Reino Unido, encontrándose que está prohibida la descarga al mar, de hidrocarburos libres tanto en lodos como en los recortes de perforación.

El uso de lodos de emulsión inversa esta limitado, y solo se emplean bajo ciertas condiciones, por lo que se aplican alternativas como la utilización de aceites de baja toxicidad.

Se prohíbe toda descarga de hidrocarburos.



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

Los recortes de perforación no deben contener mas de 10 gr. de hidrocarburos por kg. de recortes en base seca.

CAPITULO III

TECNOLOGIAS Y EQUIPOS PARA EL TRATAMIENTO DE RECORTES CONRTAMINANTES.

“¡Tierra,polvo y terrón
Tierra,polvo y terrón Aragón Aragón !”
Himno de la Tuna de la ENEP Aragón



3.1 TECNOLOGIAS Y EQUIPOS PARA EL TRATAMIENTO DE RECORTES CONTAMINANTES

Al inicio de la década de 1980, se observó un incremento sustancial en el promedio de metros perforados por tiempo de operación de equipo, en casi la totalidad de las zonas petroleras. Esto se puede atribuir principalmente al amplio uso de los lodos base aceite, ya que con éstos se obtienen ventajas sobre los lodos base agua. El primer beneficio es la estabilidad del agujero cuando se perforan intervalos de lutitas inestables, comunes en la Sonda de Campeche. Con esto se reduce el tiempo de perforación de estos intervalos permitiendo mantener mayores secciones de agujero descubiertos y una geometría más regular del pozo.

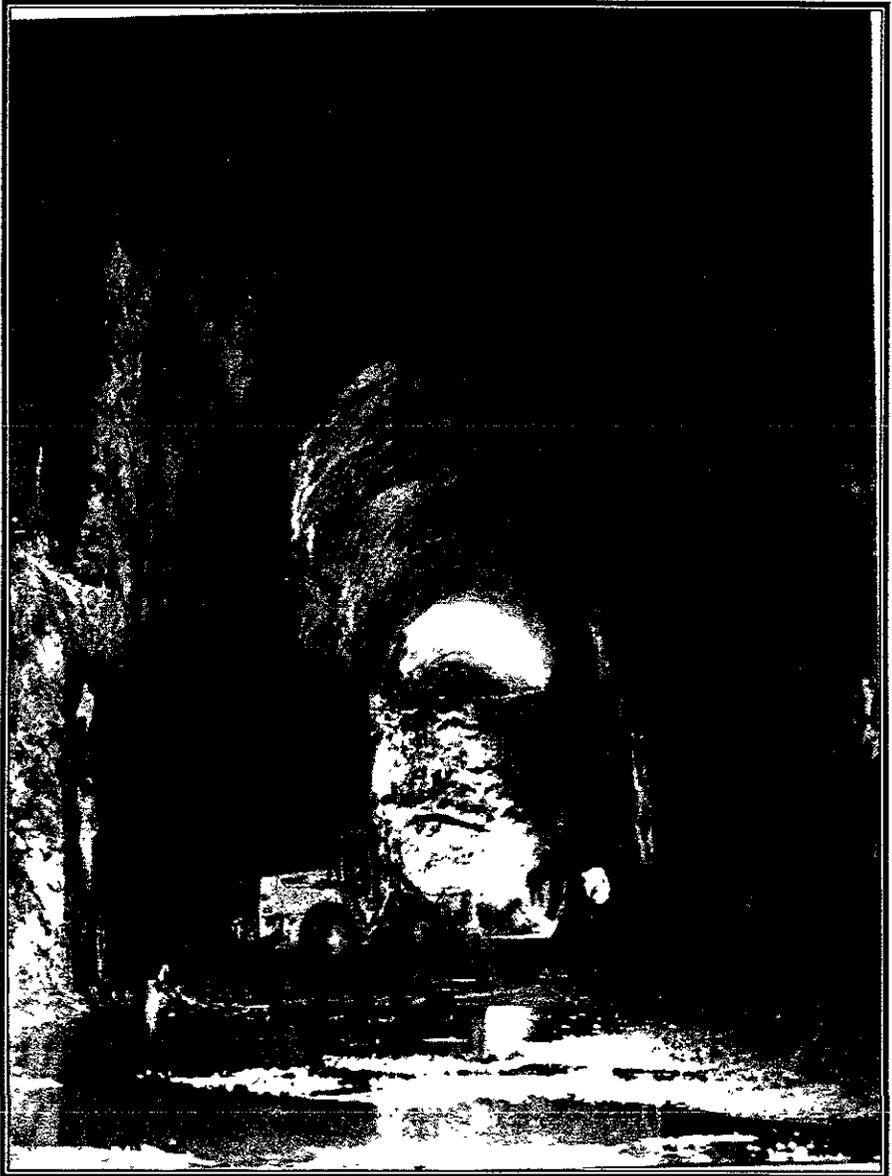
Desgraciadamente los beneficios aportados por el uso de fluidos base aceite, dañan al medio ambiente, por lo que su utilización se ve restringida.

Para dar solución a este problema, se han desarrollado fluidos de perforación de emulsión inversa (base diesel), lo que requiere de la utilización de tecnologías apropiadas para el tratamiento y disposición de los desechos que coadyuvan a solucionar los problemas de contaminación que su eliminación al ambiente representa.

Los lineamientos para resolver los problemas de contaminación en las zonas donde se realizan actividades encaminadas a la recuperación de los hidrocarburos, han acelerado el reemplazo y mejoramiento de los equipos, principalmente en lo que se refiere a la adaptación de las plataformas de perforación costa afuera, con el propósito de desarrollar operaciones con cero descargas, ya que los aspectos de contaminación están estrictamente regulados.

Se desarrolló un estudio para detectar las principales técnicas y equipos utilizados para el tratamiento de recortes contaminantes, mediante un monitoreo en las principales fuentes de información, así como la comunicación directa con las compañías prestadoras de servicio en este ramo.

Una vez identificados los procedimientos aplicables al tratamiento de recortes contaminantes, se localizaron las principales compañías dedicadas al desarrollo de tecnología en las áreas de prevención y control de la contaminación a nivel internacional, estableciéndose comunicación con ellas, para solicitarles información acerca de los



Nuevas tecnologías para almacenar desechos tóxicos



procesos que se están aplicando en el tratamiento y disposición de los desechos contaminantes.

3.1 ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICION DE RECORTES

La disposición de recortes se puede realizar básicamente en dos áreas principales:

A) Inyección

B) Disposición terrestre. La selección de cualquiera de ellas dependerá de la factibilidad técnica y económica previamente realizada.

Inyección

El método más recomendable, es la inyección a pozos, debido a que los problemas ambientales desaparecen permanentemente y se evita realizar algún tratamiento previo a su disposición para cumplir con la normatividad. Sin embargo, en algunos casos la disposición terrestre puede tener algunas ventajas sobre la inyección de pozos.

La inyección de los recortes puede realizarse en la misma plataforma, mediante la inyección anular o fuera de ésta. Para la inyección de fluidos y recortes, se deberá confirmar que ésta operación no dañe los sedimentos superficiales o las formaciones productoras si se realiza cerca de un yacimiento. Las formaciones más efectivas para la inyección de las lechadas de recortes, son aquellas zonas de baja presión o agotadas, particularmente arenas, las cuales permiten una rápida aceptación. Con la inyección anular se reducen los riesgos al medio ambiente, ya que los desechos son rápidamente confinados.

La inyección fuera del sitio podrá realizarse mediante la ubicación de un pozo centralizado al área de perforación, ya sea costa afuera o en tierra. Este deberá ser considerado como un pozo de desecho. Los recortes o lechadas de recortes tendrán que ser recolectados en contenedores y embarcados hacia el sitio de disposición. Los recortes deberán ser convertidos a lechadas en los pozos y posteriormente inyectadas en la zona elegida. Sin embargo, la producción de grandes volúmenes de recortes, plantea el problema de contar con un sitio de almacenamiento, lo cual nos lleva a concluir que la opción para la inyección costa afuera es una plataforma antieconómica,



ya que requiere de una sección especialmente diseñada como un contenedor para manejar desechos. Esto incrementaría los costos de disposición. Bajo este criterio, un pozo de inyección en tierra puede ser la opción más viable, especialmente en términos económicos.

Inyección (General)*

Ventajas	Desventajas
1.- Mínimos riesgos al medio ambiente y seguridad.	1.- Se deberá comprar/rentar equipo para desarrollar la lechada.
2.- Bajos costos de operación	2.- Se deberá contar zonas de aceptación con presiones de bombeo suficientemente bajas.
3.- Tecnología actualmente aplicada por varias compañías	3.- Requiere de espacio de almacenamiento para recorte/lechada.
4.- Cuando se realiza en el sitio, no se requiere manejo de cajas.	4.- Se requiere pre-ingeniería para cada caso.
5.- La tecnología cumple con la normatividad, ya que la lechada queda confinada.	5.- Requiere monitoreo para verificar el confinamiento.

*Mayor aplicación en pozos que emplean grandes volúmenes de lodos base aceite y logísticamente lejanos de la base, o en nuevos campos donde un gran número de pozos pueden ser perforados.

Opciones de disposición terrestre

Las compañías perforadoras contemplan cuatro métodos principales para la disposición de recortes de perforación:

- A) Cultivos terrestres. La combinación de métodos de disposición y tratamientos biológicos en el suelo, da como resultado la descomposición del aceite en los desechos.
- B) Fosa de entierro (confinamiento controlado). Una fosa revestida y sellada es construida para contener todos los desechos. Los recortes y lodos pueden ser depositados directamente en la fosa donde serán enterrados.



C) Entierro previo tratamiento. Los recortes son tratados para remover el exceso de aceite

D) La inyección como una lechada en un pozo o en una cavidad dispuesta especialmente para desechos.

Haciendo una evaluación general de estos métodos obtenemos:

Disposición Terrestre (General)

Ventajas	Desventajas
1.- Alternativas de bajo costo. 2.- Favorable al medio ambiente. 3.- Practicada por otras compañías a nivel mundial. 4.- El material de desecho puede ser reusado en el mismo sitio. 5.- Riesgos mínimos de contaminación. 6.- Los procesos cumplen con la normatividad de protección ecológica.	1.- Riesgos de seguridad ambiental en el transporte de los recortes 2.- Empleo de recursos humanos. Carga de cajas de barcos, acarrees, derrames, etc. 3.- Implica costos de cajas, barcos, abastecedores extras, camiones extras, equipo de cultivo, pozos de agua, fertilizantes, etc. 4.- Operaciones de perforación suspendidas si la capacidad de almacenamiento de los recortes es excedida (cuando no se carga durante períodos prolongados de mal tiempo).

OPCIONES PARA EL TRATAMIENTO

De acuerdo al estudio realizado se encontraron cinco metodologías principales utilizadas en el tratamiento de recortes, las cuales incluyen:

- Procesos térmicos
- Procesos químicos
- Procesos físicos
- Procesos biológicos



- Disposición por inyección

Para cada área se detectaron diferentes alternativas y tratamientos las cuales fueron evaluadas técnica y económicamente y cuyo resultado se presenta a continuación:

Procesos térmicos

Mediante estos procesos se remueve casi en su totalidad el aceite de los residuos sólidos, los cuales pueden emplearse como relleno de terrenos o en la construcción de caminos, o descargarse al mar, si el tratamiento se realiza en la misma plataforma. El aceite queda disponible para combustible en el mismo proceso o reuso en los lodos de perforación base aceite. Estos métodos son recomendados para el procesamiento de recortes aceitosos y pueden propiciar el reciclado/reuso del aceite y sólidos residuales que son prácticamente inofensivos al medio ambiente. Para que éstos procesos sean ambientalmente efectivos, se requiere manejar altas temperaturas, sobre todo cuando se trata de incineración de los mismos, ya que los hidrocarburos no quemados serán descargados a la atmósfera, causando contaminación secundaria. Las técnicas recomendadas para tal área son descritas a continuación:



3.2 TECNICA 1.- RETORTA TERMICA

Análisis técnico

Una retorta rotatoria consiste de una coraza cilíndrica que rota y que es calentada por quemadores externos a la coraza (figura 3.1), los recortes entran por un embudo como se muestra en la figura y son transportados dentro de la unidad por un tornillo sin fin. Los

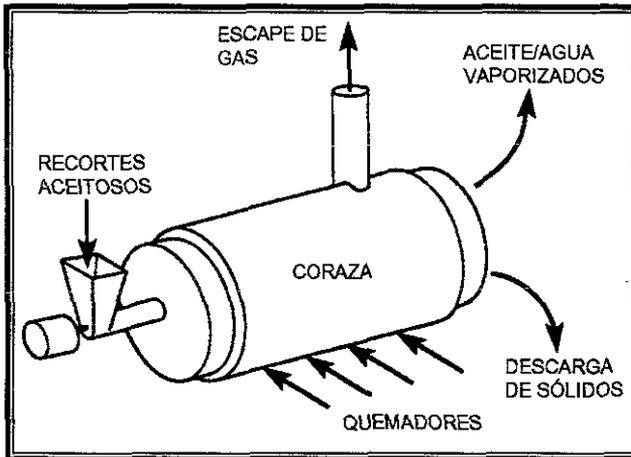


Figura 3.1 Retorta térmica rotatoria

recortes en el tornillo alimentador (sin fin) y el embudo forman un sello que excluye al oxígeno del sistema. Los recortes aceitosos se mueven dentro del cilindro conforme éstos se calientan hasta el punto en que la mayoría de los líquidos (aceite y agua) son vaporizados. Los gases se eliminan del cilindro ya sea mediante el barrido con nitrógeno o con vapor. Los recortes y las sales que no se vaporizan, descargan, con una gran reducción en su contenido de aceite, a través de un tornillo rotatorio que evita la entrada del oxígeno. El aceite vaporizado y el agua, se acumulan y se condensan.

Una retorta experimental se muestra en las figuras 3.2 y 3.3 la retorta gira dentro de un horno alimentado con gas natural y aceite, a través de una hilera de quemadores los cuales están localizados por debajo de la retorta rotatoria. Los gases de combustión

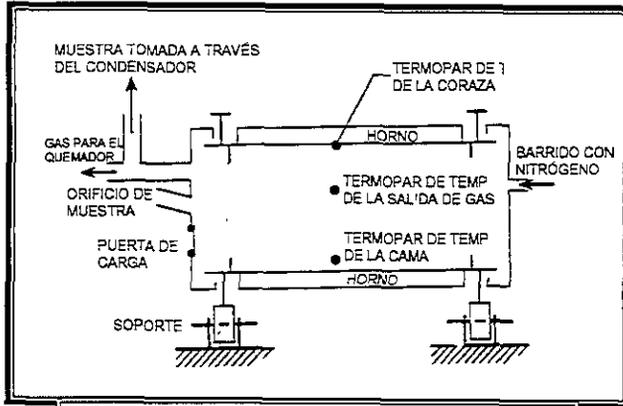


Figura 3.2 Retorta experimental

calientes fluyen verticalmente hacia el fondo o parte inferior de la misma, donde se dividen para circular por la circunferencia exterior de la misma hasta la parte superior donde se colectan y descargan a través de una chimenea.

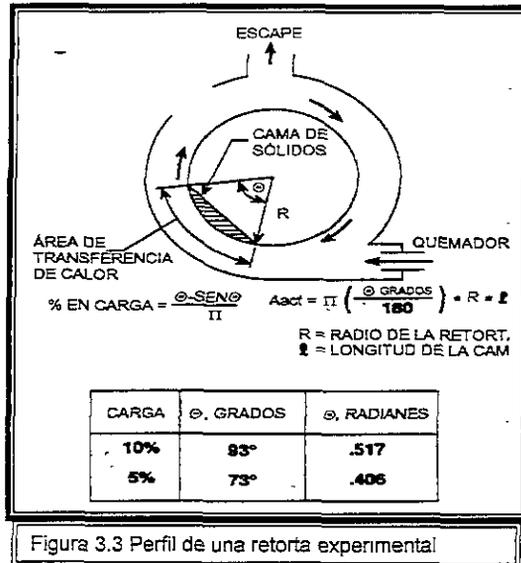


Figura 3.3 Perfil de una retorta experimental

En el interior de la retorta existen instalados termopares con objeto de medir la temperatura de la cama de sólidos y la de los gases de combustión. Los termopares que miden la temperatura de los sólidos están instalados de manera que permanezcan



inmersos en los mismos, cercanos a la porción media de la cama de sólidos. Las temperaturas registradas son útiles como valores de control y muy cercanas a los valores reales en el material. La temperatura de la coraza, o recubrimiento de la retorta se mide mediante termopares instalados en la superficie de la coraza en sus extremos y parte central. Estas temperaturas se confirman mediante un sensor portátil que mide temperatura por radiación.

La retorta se purga mediante un barrido con nitrógeno para asegurar una atmósfera libre de oxígeno.

Al inicio de la prueba la temperatura de la coraza en la retorta se estabiliza a 600 °F (315°C), una carga de material consistente de 5 a 19 % de la capacidad total de la carga de la retorta es alimentada, la temperatura exterior (en la coraza) se eleva rápidamente a la temperatura final de la prueba, generalmente de 1200 °F (649°C). Las temperaturas de combustión son continuamente monitoreadas; es posible tomar muestras a través de un puerto de muestreo enfriado con nitrógeno, el cual enfría rápidamente la muestra evitando con ello posterior vaporización de líquidos. La corriente de gases y vapores producidos se condensa y colecta, para posteriormente analizarla y determinar si el aceite condensado puede ser utilizado nuevamente en los fluidos de perforación. La prueba continúa hasta no haber vaporización apreciable de líquidos.

Enjarre de la retorta

Conforme los recortes son alimentados, el agua y aceite asociados se secan, la mezcla se hace viscosa y pegajosa. Esta pasta, se puede adherir a las paredes interiores de la retorta cuando el secado se ha completado. Lo anterior, se refiere como formación de enjarre en las paredes de la retorta. Este hecho contribuye a una disminución en la transferencia de calor, ya que el enjarre actúa como aislante.



Sitio de aplicación de la tecnología

Se ha encontrado que el transporte de recortes a tierra además de riesgoso (derrame accidental durante su movilización a tierra) es caro, e incluye el consumo de tiempo y sólo traslada el problema de un lugar a otro. Por lo anterior, considera más conveniente instalar el equipo propuesto en la plataforma para tratar los recortes conforme éstos se van generando, eliminando así la necesidad de espacio disponible para el almacenamiento de recortes hasta completar el volumen suficiente y enviarlo a tierra, razones por las cuales la técnica presentada se recomienda básicamente para el tratamiento y depositación de recortes "in-situ" siempre y cuando el volumen de recortes generados justifique económicamente la instalación del equipo mencionado (con objeto de hacer la técnica aun más económica al no emplear recursos en la movilización de recortes), aunque la misma también puede instalarse en el sitio de confinamiento final de desechos, cuando el área disponible en el pozo costa afuera sea restringida, entonces se trasladaran a este sitio los recortes recuperados de varias localizaciones, abatiendo así los costos de tratamiento.

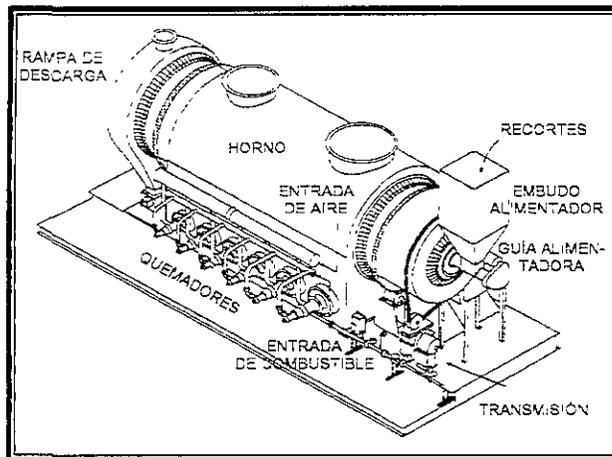


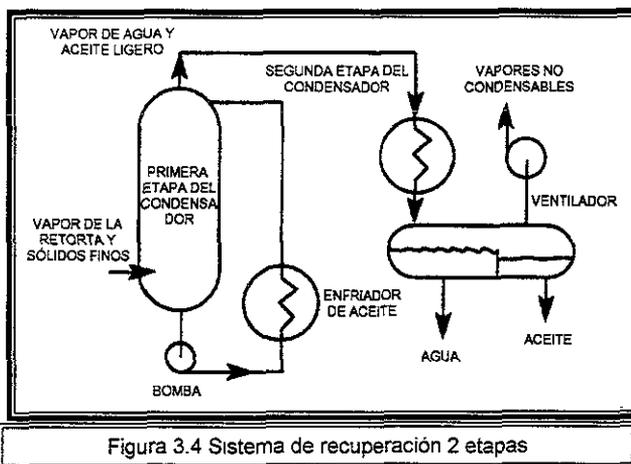
Figura 3.6 Unidad retorta térmica



Equipo

La figura 3.6 corresponde a una ilustración conceptual de cómo sería la unidad; dos equipos como éste son capaces de manejar 15 toneladas/h. de material. Cada una de estas unidades tiene un diámetro de coraza de 5.83 pies (1.78m) y 21 pies (6.4m) de longitud útil de horno. El tamaño de la unidad es más o menos de 8 pies (2.44m) de ancho y 30 pies de largo (9.14m).

Ya que el sistema de recuperación de lo que se vaporiza, parcialmente establece la calidad del producto, es posible entender conceptualmente como opera el sistema, el cual está adaptado a la retorta rotatoria con objeto de evitar la contaminación del aceite



y el agua. La figura 3.4 muestra un sistema de recuperación de vapor de dos etapas, propuesto por Frank Carison de Waste-Tech. Los recortes de la retorta y algunos sólidos finos entran al primer condensador. El aceite destilado es usado como medio de transferencia de calor en el primer condensador y la temperatura en la parte superior regulada justo por encima del punto de ebullición del agua. El resultado es que todo aceite más pesado y las partículas sólidas se quedan en el primer condensador. La condensación de aceite, agua y sólidos juntos, se evita ya que tienden a formar emulsiones que son difíciles de separar.



Los aceites ligeros, aquellos que embullen a 212°F (100°C) o más, son acarreados junto con el agua al condensador de la segunda etapa. Aquí se condensan el agua y los aceites ligeros y después se separan. Los gases no condensados abandonan el sistema mediante un extractor.

Análisis económico

Costo de operación

El calor requerido para vaporizar el contenido de aceite de los recortes en un agujero de 17.5 pulgadas (444 mm.) asumiendo 8% de aceite, 13% de agua y 79% de sólidos es como sigue:

Agua	347,000 BTU/TON
Aceite	73,000 BTU/TON
Sólidos	305,000 BTU/TON
Total	725,000 BTU/TON

Lo anterior, a un 19% de utilización de energía en el horno (calentado a 1600°F)

$$\begin{aligned}\text{Consumo de calor} &= (725,000) / (0.19) \\ &= 3'816,000 \text{ BTU de combustible/ton. recortes}\end{aligned}$$

de acuerdo a la cotización presentada por la compañía especialista en este proceso, se tiene los siguientes costos:

**Inversión inicial**

Costo de transporte al sitio de tratamiento:	60,000 dls.
Instalación costa afuera:	
Costo de renta (incluye mano de obra y capital)	8,000 dls./día
Costo de combustible	20 dls./ton
Si diariamente se produce un promedio de 10 m ³ de recortes, lo que equivale a 24 ton aproximadamente:	
Costo del combustible para el proceso	480 dls./día
Los costos por día serán:	
Costo de renta y combustible	8,480 dls.
IVA	1,272 dls.
TOTAL	9,752 dls./día
Costo estimado por tonelada = 9,752	406 dls./ton

Sin considerar el tiempo de espera que se tendría hasta perforar la siguiente etapa con lodo de emulsión inversa, lo que prácticamente lo hace incosteable.

Instalacion en tierra

Costo de renta y combustible	8,480 dls.
Costo de transporte estimado	3,200 dls./día
Subtotal	11,680 dls./día
IVA	1,752 dls.
TOTAL	13,432 dls./día

Considerando que a la vez se perforan 4 pozos con la etapa de emulsión inversa

Se tendrá un costo total por pozo de : 3,358 dls./ton

La producción de recortes diaria por pozo es de aproximadamente 24 ton, lo que equivale a tener un **costo estimado de tratamiento por tonelada de 140 dls.**



Lo que resulta económicamente factible, y puede implementarse, además para el tratamiento de recortes terrestres, ya que con esta producción, la planta trabajaría al 60 % de su capacidad nominal que es de 160 ton/día.

3.3 TECNICA 2. - PROCESO TORBED

Análisis técnico

Esta técnica al igual que la anterior, se basa en la volatilización de los hidrocarburos de los recortes de perforación, mediante la aplicación de calor a una cámara de proceso, sin embargo, esta técnica utiliza vapor como medio de transferencia de calor.

Los recortes son transportados al tanque de suministro donde se *homogeneizan*, posteriormente son transportados a la tolva de alimentación mediante un tornillo sin fin, los recortes fluyen con un gasto aproximado de 7 a 12 ton/hr (3 a 5 m³/hr), el cual depende de la temperatura de operación, sin embargo, se estima que el ritmo de procesamiento promedio es de 10 ton/hr.

Los recortes de perforación son introducidos dentro de una cámara de volatilización, cuya temperatura promedio es de 400 °C, la cual se encuentra inundada de vapor sobrecalentado por quemadores integrados a la cámara. A esta temperatura el aceite contenido en los recortes es vaporizado y se extrae junto con el vapor. La mezcla de vapor es condensada para posteriormente efectuar el proceso de separación agua-aceite mediante destilación.

Con este sistema se obtiene concentraciones finales de aceite en los recortes menores al 1%, ya que la temperatura de operación permite la volatilización de los hidrocarburos. Como ya se mencionó en la técnica anterior (No1), esto permite cumplir con las restricciones más estrictas aplicadas actualmente.

El sistema permite eliminar completamente los residuos más tóxicos como los PCB's, los cuales son altamente cancerígenos



El reactor torbed.

El material enviado al reactor se reparte en la cámara de proceso mediante un disco distribuidor, los recortes se ponen en contacto por la parte superior mediante una serie de placas que alimenta una corriente de gas a 750 °C. La eficiencia de la transferencia de calor, se pone de manifiesto por una acelerada reducción de la temperatura, de manera que una nueva carga de recortes introducida a la cama del reactor tendrá una temperatura promedio de 400 °C . Los gases calientes son generados mediante un quemador de aceite, auxiliado por vapor sobrecalentado guiado por eyectores venturi que controlan la velocidad de flujo de manera que se alcance la temperatura deseada. El quemador es moderado para mantener una temperatura constante de 750°C en la cámara del reactor. El uso del vapor y de los eyectores permiten reducir la mayoría de los gases en la cámara de proceso, reduciendo además del tamaño del equipo, el requerimiento total de energía.

La velocidad de flujo del vapor a los eyectores es manualmente controlada para lograr el reciclado deseado del gas, y por lo tanto la velocidad del flujo necesaria a través de las laminas del reactor. En el caso de que se interrumpiera la alimentación de recortes al reactor, el quemador es capaz de regularse automáticamente de manera que se mantengan a 400°C en la cámara de proceso constituyendo una condición de espera (satand by).

Los sólidos secos se alimentan al reactor Torbed de dos formas: la fracción de sólidos gruesos (>150 micrones) es desplazada hacia alguno de los cuatro puertos de descarga situados en la parte central, mientras que los sólidos finos (< 150 micrones) son eliminados por la parte superior del reactor hacia los tubos de descarga de sólidos. Estos sólidos finos se combinan con la fracción de grumosos en la base de la unidad. Se han incorporado ciclones a la coraza del reactor con el objeto de separar la porción de material fino de aproximadamente un micrón, el cual también es enviado a los tubos de descarga de sólidos para posteriormente ser transportados a los depósitos de material limpio. El reactor Torbed es operado bajo condiciones de presión cercanas a la



atmosférica, controlada mediante una válvula de mariposa instalada en el ducto de salida de vapor de un extractor.

Los sólidos calientes descargados a los depósitos de material limpio, se enfrían mediante un esparcido con agua que al mismo tiempo elimina el polvo generado.

Depuración del gas, separación aceite/agua

El gas que abandona el reactor y que consiste en una mezcla de productos de combustión, vapor y aceite volatilizado, pasa a través de un depurador que utiliza agua de enfriamiento para condensar los volátiles y reducir la temperatura del gas a niveles inferiores a los 50°C. Los líquidos condensados se bombean a un separador aceite/agua de una sola etapa. El aceite se recolecta y se envía a un tanque de alimentación mientras que el agua recircula al depurador después de enfriarla. El sedimento que se forma en el fondo del depósito de aceite, es periódicamente eliminado.

El gas que se atrapa en el depurador, se pasa mediante una corriente inducida por un extractor y se descarga a la atmósfera.



Area de aplicación

El concepto original Torbed fué relativamente simple, ya que fue diseñado empleando la tecnología de combustión parcial para efectuar la combustión del aceite en los recortes dentro de una cámara de proceso. Un diagrama de esta cámara de proceso original está mostrado en la figura numero 3.7. la cual comprende la alimentación de los recortes a la

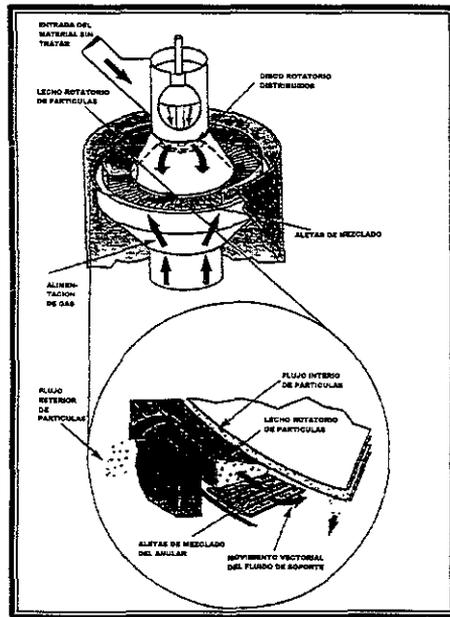


Figura 3.7 proceso original

cámara de proceso por un tornillo alimentador, los recortes procesados se descargan centralmente, las partículas finas generadas se descargan centralmente, las partículas finas generadas por la abrasión son recolectadas y descargadas por ciciones. El concepto del proceso original se muestra en la figura numero 3.8.

Varias opciones fueron investigadas, incluyendo la combustión completa, combustión parcial, y volatilización. La primera opción fue eliminada debido a consideraciones relacionadas con el calor (temperaturas de procesamiento mayores de 110°C en la

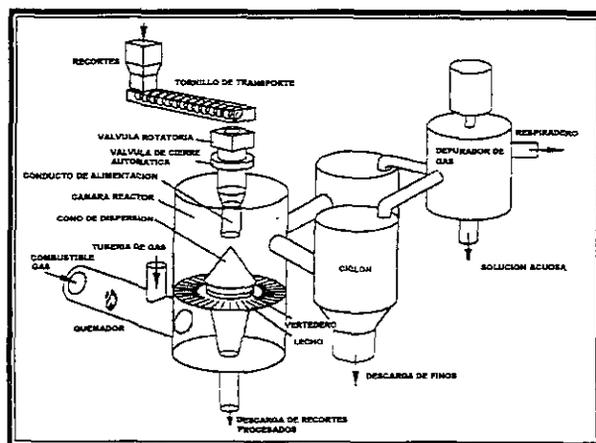


Figura 3.8 Esquema del proceso

cámara) y la consiguiente afectación sobre el diseño de ingeniería y seguridad. La combustión parcial y la volatilización fueron seleccionadas como la base para posteriores estudios, los ensayos estuvieron dirigidos a diversas temperaturas de proceso menores a 600°C.

Los resultados de éstos estudios fueron presentados en 1993 en la conferencia de IBC y confirmada la validez de este enfoque, para la eliminación de recortes aceitosos.

Sin embargo, ciertas preocupaciones se suscitaron acerca de la aplicación de este tipo de procesos para la protección ambiental costa afuera, por lo que fue el foco de atención para el desarrollo de procesos posteriores.

Las preocupaciones críticas acerca del diseño original fueron:

1. El peso
2. El tamaño (dimensiones físicas, muy grandes)
3. El uso de voluminosas líneas refractarias
4. La seguridad (combustión parcial)
5. Faltan consideraciones de seguridad
6. La alimentación de recortes /descarga y recuperación de aceite.

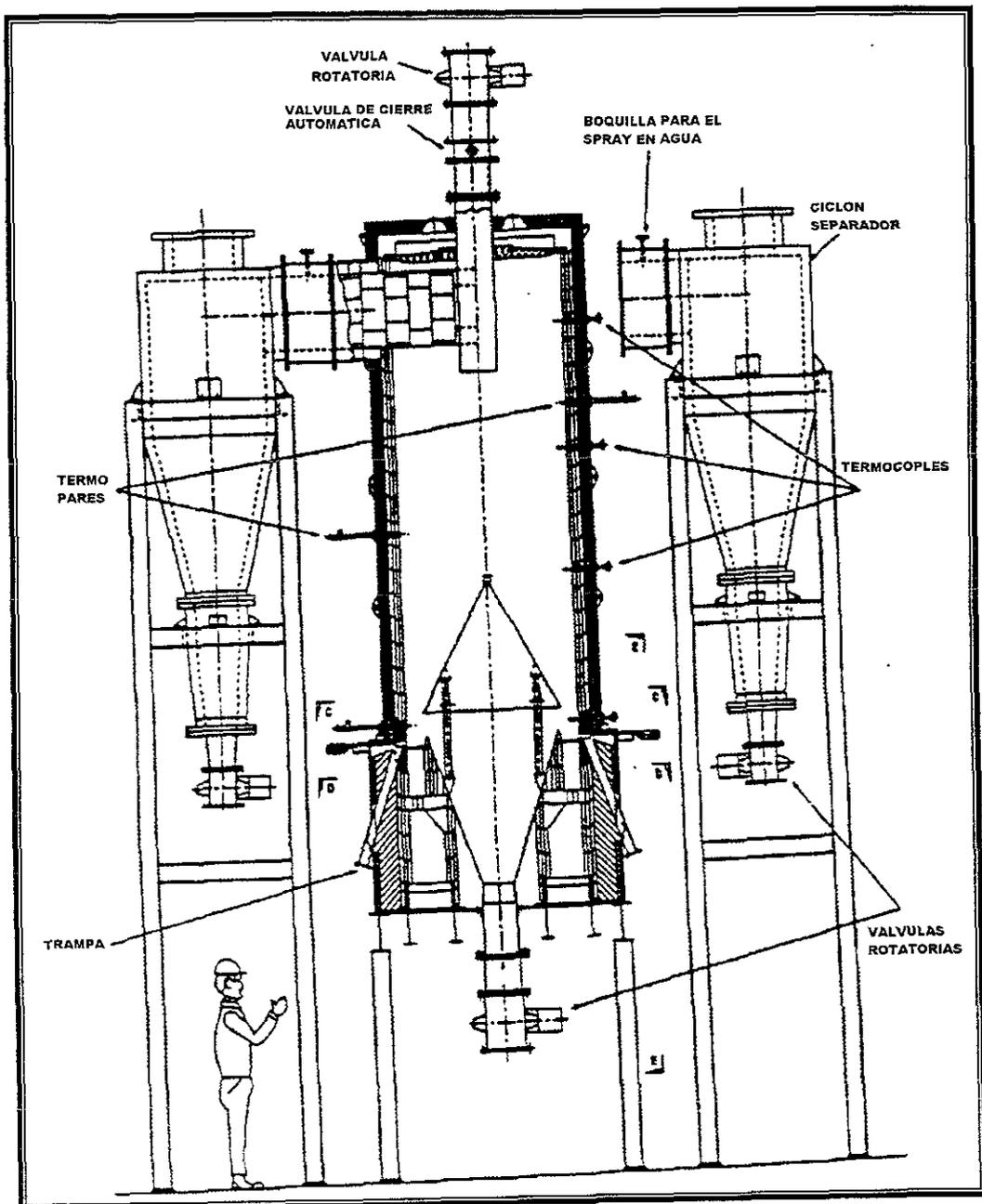


Figura 3 9 Diseño a escala para instalarlo en barco



Las consideraciones de tamaño y peso fueron siempre la preocupación principal para el desarrollo del siguiente equipo, mostrado en la figura 3.9 (a escala). EL diseño original fue realizado para su instalación en un barco de procesamiento, donde se instalarían abultados ciclones para recolectar las partículas finas formadas durante combustión y abrasión parcial de recortes a la cámara. En todo el barco serían instaladas líneas

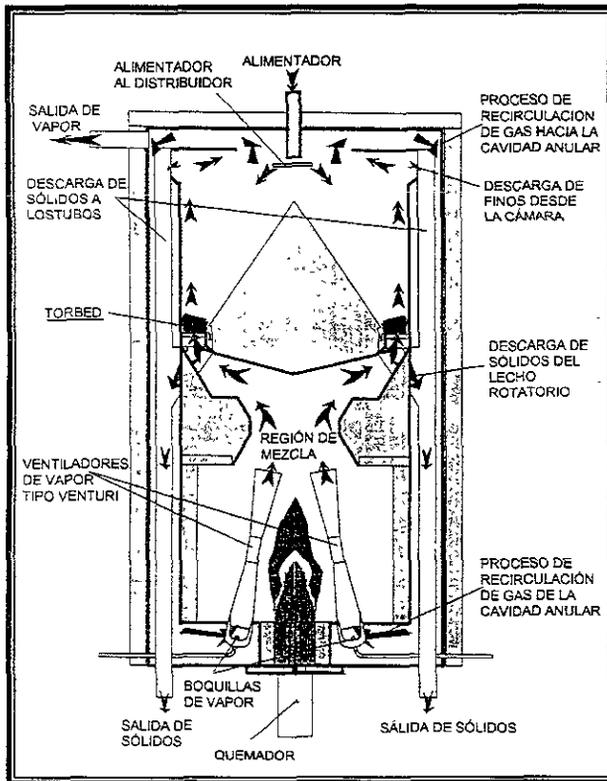


Figura 3.10 Análisis térmico de recortes

refractarias para manejar las altas temperaturas involucradas en el proceso. De esta manera su instalación costa afuera en una plataforma fue descartada por el volumen y peso del equipo requerido, por lo que se planeo utilizarlo en un barco y operará en un lugar estratégico en el área de perforación. El nuevo concepto que emergió fué la opción



de volatilización. El análisis térmico de los recortes aceitosos (figura 3.10). comparadas con el diseño anterior son:

- La integración de los quemadores en el reactor para producir el calor dentro de la cámara de proceso.
- La inyección y recirculación de gas.
- La eliminación de abultadas líneas de refractarios (ahora limitada sólo a una unidad de quemado).
- La provisión de una cámara interior que tiene un papel dual de un ciclón integral y el aislamiento del calor fuera del barco.
- El uso de vapor (capacidad de calor más alta) como gas de calentamiento.

Estos caracteres distintivos, han permitido una reducción sustancial tanto del peso como del tamaño, para permitir el procesamiento a temperaturas alrededor de 400°C en la cámara y proveer las bases para el diseño de una unidad de demostración comercial, la cual cuenta con los requerimientos para su uso costa afuera.

Los conceptos de seguridad del desarrollo original fueron superados, también se supero la fuente de ignición inicial debido al calentamiento de las superficies presentes. La fuente de energía primaria para volatilización del aceite de los recortes es el vapor. Este es sobrecalentado por los quemadores, para proveer una temperatura debajo de los 759°C y ofrece una temperatura de procesamiento en la cámara de alrededor de 400°C (volatilización endotérmica). Así, al iniciar el proceso la cámara estará inundada de vapor, por donde los recortes serán introducidos. Si durante el procesamiento existe una falla total en la energía, el generador provee vapor a la unidad hasta que la potencia sea establecida.

Las temperaturas bajas de procesamiento y el uso del ciclón integrado, reducen las preocupaciones acerca de la exposición de superficies calientes como fuentes potenciales de ignición.



El desarrollo de una temperatura de volatilización baja ha permitido diseñar una unidad de procesamiento compacta y eficiente, con opción de recuperar el aceite del sistema de lodos y reciclarlo, usándolo en el generador de vapor o transportarlo para generación de potencia. Se esbozo un plan para una nueva unidad de demostración cuyo esquema se presenta en la figura 3.11.

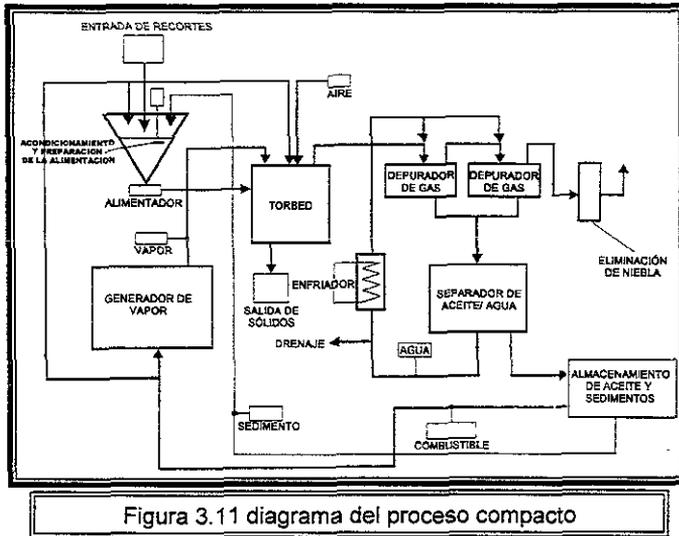


Figura 3.11 diagrama del proceso compacto

La combinación de todos estos caracteres dio como resultado un diseño modular compacto para operación comercial, el cual está sujeto a que los ensayos a realizarse resulten exitosos, éste podría ser la base para la integración de un paquete para operación costa afuera.

Cumplidas las condiciones de seguridad, los procesos de ingeniería del nuevo concepto estarán dirigidos a la validación experimental de tres áreas principales:

- El suministro de alimentación
- La productividad
- La confirmación de que el producto está libre de Dioxinas y PCB's.



Existen varias opciones para alimentar la unidad de proceso, en términos operacionales cualquier sistema podría ser empleado para alimentar a la unidad Torbed, ya sea por un tornillo o bombas de desplazamiento positivo.

La segunda área de validación es la productividad, es decir, las toneladas de recortes tratados por hora de acuerdo al tamaño de la cámara de procesamiento Torbed. El nuevo diseño opera con temperaturas considerablemente más bajas que el diseño original, por lo que el flujo puede resultar mucho menor, debido al incremento del tiempo de residencia en la cámara, para obtener cero descargas de aceite en los recortes.

Como una consecuencia de la temperatura de operación baja, existe la necesidad de revisar la producción o ausencia de PCB's y dioxinas. Los ensayos previos se realizaron con temperaturas de procesamiento debajo de 625°C mostrando que a estas temperaturas las concentraciones de contaminantes fueron insignificantes, por lo que deben evaluarse en esta nueva configuración.

Análisis económico

De acuerdo a la cotización presentada por la compañía especialista en este proceso, se tienen los siguientes costos:

Inversión inicial	60,000	dls.
Costos de instalación	50,000	dls.
TOTAL	110,000	dls.

Instalación en tierra

Costo de tierra y combustible	10,500	dls.
Costo de transporte estimado	3,200	dls./día
Subtotal	13,700	dls./día
IVA	2,055	dls.
TOTAL	15,755	dls./día

Considerando que se perforan 4 pozos a la vez en la etapa de emulsión inversa



Se tendrá un costo total por pozo de 3,938 dls./día

Se tiene una producción de recortes diaria por pozo de aproximadamente 24 ton, lo que equivale a tener un **costo estimado de tratamiento por tonelada de 164 dls.**

Lo que resulta económicamente factible, y puede implementarse además para el tratamiento de recortes terrestres, ya que a esta producción, la planta trabajaría al 40% de su capacidad nominal, que es de 240 ton/día.

3.4 TECNICA 3.- MICROENCAPSULACION.

El proceso de encapsulación de hidrocarburos, involucra una reacción química que resulta en una celda de sílice amorfo puro, estable y no soluble, cuya estructura inmoviliza a los materiales hidrocarburos residuales, incluyendo otros residuos como los materiales pesados, por lo que el daño ecológico se minimiza.

Análisis técnico

Descripción del proceso

El proceso de microencapsulación se lleva a cabo bajo la siguiente metodología

Preparación

Los recortes de perforación son depositados en un tanque con agitadores y serpentín de vapor, donde se homogeneizan a una temperatura promedio de 80°C, con el propósito de hacer la fase fluida menos viscosa y de esta manera lograra una mayor separación de las fases líquidas y sólidas.

Separación

Posteriormente la mezcla se transporta a un vibrador provisto de mallas 200 para separar la mayor cantidad de líquido de los sólidos, obteniendo lo siguiente:

Líquidos

Se componen de lodos base aceite, sólidos menores a 74 micras y agua, lo cual puede ser enviado a la planta de tratamiento de lodos para su reuso.

Carga intermedia



Está compuesta por los recortes de perforación impregnados de lodos base aceite, principalmente.

Carga mezcladora.

En este punto los recortes son depositados en una mezcladora de listón, la cual tiene una capacidad de procesamiento de recortes de 10 ton/hrs, aquí nuevamente se realiza una homogeneización de la mezcla.

Aplicación del emulsificante

Posteriormente la carga intermedia es rociada con un emulsificante, siendo el tamaño de las partículas entre 2 y 10 micras. La mezcla nuevamente se homogeneiza durante un lapso de tiempo que depende de su volumen. Esta emulsificación involucra una integración física entre el emulsificante, los hidrocarburos y una capa acuosa.

Aplicación del silicato reactivo

La mezcla es rociada con un silicato reactivo; el resultado es una celda de sílice, quedando el hidrocarburo atrapado dentro de la celda.

Secado del material

Posteriormente el material se descarga a una secadora para eliminar la humedad, procediendo a realizar los análisis correspondientes (CRETIB), para asegurar que el producto ya no sea un producto peligroso.

La implementación de esta técnica requiere de un área considerable, por lo que únicamente se puede instalar en tierra. Actualmente la Cia. Geopetroil tiene su planta localizada a 5 km de la terminal marítima de Dos Bocas, Tab., por lo que la disponibilidad de tratamiento es inmediata.

La planta tiene una capacidad de procesamiento de 1,820 ton mensuales. sin embargo se puede acondicionar para tratar todos los recortes producidos por los pozos de la zona marina



Area de aplicación

La implementación de esta técnica requiere de un espacio considerable, por lo que únicamente se puede ejecutar el proceso en tierra.

Espacio

El área total de la planta comprende 6,424 m² totalmente pavimentados:

- a) Area de acceso
 - b) Area de maniobras
 - c) Area de descarga
 - d) Area de tratamiento
 - e) Area de almacenamiento de materiales tratados.
 - f) Area de productos químicos
 - g) Area de mantenimiento
 - h) Area de subestación eléctrica
 - i) Almacén general
 - j) Oficina y laboratorio
 - k) Estacionamiento
-
- Fosa de retención
 - Trinchera perimetral
 - Equipo de tratamiento

Equipo

El equipo necesario para la aplicación de la tecnología, así como los productos necesarios y procedimientos, no están en venta ni en renta, ya que la propia compañía Geopetrol tiene su propia planta para dar el servicio.

Características del equipo



CANTIDAD	CARACTERISTICAS DEL EQUIPO
1	Mezcladora de listón con una capacidad de procesamiento de 6 ton/hr, con motor de 40 HP.
1	Mezcladora de listón con una capacidad de procesamiento de 10 ton/hr, con motor de 60 HP.
1	Secadora (compuesta de tres tramos) en tres secciones.
2	Bombas de ¾ HP para dosificar los productos químicos.
1	Contenedor de 44 toneladas
1	Contenedor de 27 toneladas
1	Bomba de 30 HP
1	Bomba de 40 HP

Análisis económico

Inversión inicial

Dado que la compañía tiene instalada su planta, la inversión inicial está incluida dentro del costo del tratamiento.

Costo de operación

Para establecer un costo de tratamiento, la compañía Geopetrol requiere hacer varios análisis, los cuales incluyen:

- Muestrear
- Determinar el porcentaje de hidrocarburos
- Definir el volumen a procesar
- Tiempo que se requiere el tratamiento, etc.



De acuerdo a las condiciones que Pemex presenta a la fecha, la compañía estima un costo de tratamiento por tonelada de 310 dls, puestos los recortes en el puerto de dos bocas, Tabasco.

Costos de tratamiento según Cia. Geopetrol	310	dls.
Costos de transporte estimado	35	dls.
Costo total de tratamiento/ton	345	dls.

En resumen

- El encapsulado se realiza a nivel molecular, por lo que la liberación de las partículas de hidrocarburos es difícil
- Es un tratamiento rápido.
- No requiere de grandes superficies para su aplicación.
- Es un sistema cerrado, que no transfiere ningún tipo de contaminante a la atmósfera, al agua o a la tierra.
- Es un tratamiento que además atrapa a los metales pesados evitando que ejerzan un efecto nocivo al medio ambiente.
- Los productos utilizados son seguros y biodegradables, no tóxicos, solubles en agua, no flamables, no generan vapores ni gases tóxicos, no requieren de un manejo ni almacenamiento especial.
- El equipo utilizado es eléctrico en un 90% por lo que se evitan emanaciones contaminantes a la atmósfera.
- El sistema de tratamiento es móvil, por lo que puede llevarse a cualquier tipo de localización en tierra.
- El sistema puede aplicarse además a cualquier tipo de suelo sin importar el grado de contaminación, tipo de hidrocarburo y volumen a procesar.
- El tratamiento es efectivo para un amplio rango de hidrocarburos como: lubricantes, turbosina, gasolina, diesel, keroseno, alquitranes y residuos de refinerías.
- La celda resultante del tratamiento de los recortes tiene un promedio de vida de 80,000 años, sin que se vea afectada por intemperismo como las nevadas, deshielos, humedad, etc.
- De acuerdo con las pruebas realizadas, soporta hasta 1,500 lb/pg² de presión y temperaturas de hasta 800°C sin presentar cambios en su estructura.
- El producto puede utilizarse fácilmente como bloques o tabiques para la construcción, arena de relleno, relleno sanitario, etc.

3.5 TECNICA 4.- SOLIDIFICACION Y REDUCCION

La técnica de solidificación y fijación química consiste en la mezcla de los desechos de perforación (recortes de perforación, fluidos de desecho, lodos contaminados con



cemento, mezclas no utilizadas o sobrantes de cementación y otros desechos) con un subproducto de la fabricación del acero, constituido principalmente por silicatos, aluminosilicatos de calcio, magnesio y otras bases, para obtener un material utilizado en la cementación de pozos que proporcione y mejore el sello entre el agujero descubierto y las tuberías de revestimiento, y que además suministre un adecuado soporte estructural a la tubería antes citada.

El material obtenido ha demostrado tener propiedades hidráulicas superiores a las del cemento, debido al alto contenido de silicato de calcio en su composición; aunque estas propiedades dependen primordialmente del contenido de silicatos en el subproducto a mezclar, además de su composición química, su finura, de la cantidad utilizada en la mezcla y de la efectividad del químico utilizado como activador.

Sin embargo, considerando que los desechos a tratar muestran susceptibilidad a generar naturalmente materiales radioactivos debido a su contenido de barita y calcita, con objeto de eliminar la porción de material susceptible al cambio, se propone la siguiente alternativa, que resulta más atractiva ambientalmente, que el simple almacenaje en confinamientos autorizados. El proceso considera el tratamiento físico-químico de los desechos para aislar los sólidos no radioactivos, los cuales pueden solidificarse, reduciendo significativamente los costos asociados a la disposición final, especialmente en donde la descarga no es permitida; además de incrementar el factor de estabilidad de los desechos solidificados al separar los materiales naturalmente radioactivos para su confinamiento en lugares apropiados.

Los sistemas de solidificación y fijación química no sólo modifican el desecho mediante medios químicos, si no que también **insolubilizan, inmovilizan, encapsulan, destruyen, absorben** o de alguna manera **interactúan selectivamente** sobre ciertos componentes del mismo.

El proceso de esta técnica es producir sólidos que no sean peligrosos o que sean menos peligrosos que el desecho original. En este aspecto, la tecnología de solidificación y fijación química produce materiales que son físicamente estables bajo condiciones



normales, es decir, en condiciones ambientales no se revierten las propiedades o características originales de inestabilidad del desecho.

Sin embargo, es difícil asumir que las propiedades químicas, que son determinadas después de aplicar el proceso sean las que van a prevalecer por siglos. Es conocido, que los procesos naturales cambian las propiedades físicas de los materiales a la intemperie, tal como ocurre con los suelos naturales, rocas, sedimentos, etc., por lo que se hace necesario llevar a cabo evaluaciones a "condiciones extremas", esto es, reducir una serie de factores que pudieran alterar la estructura del material modificado o en su defecto, anticiparnos al cambio, tratando químicamente o eliminando la porción de material susceptible de transformación.

Análisis técnico

Descripción de la técnica

a) Eliminación de materiales naturalmente radiactivos

Los materiales generados como un subproducto en las actividades petroleras se encuentran a menudo en forma de sales como sulfatos. Los sulfatos como los de bario y calcio, elementos que se localizan en el mismo grupo de la tabla periódica que el radio, son virtualmente insolubles en soluciones acuosas.

Debido a la similitud en el comportamiento químico del radio, el bario y el calcio, los precipitados de sulfato de bario y sulfato de calcio frecuentemente observan ser ligeramente radioactivos.

Muchas aunque no todas las incrustaciones de los materiales naturalmente radioactivos, están compuestas de sulfato de bario (BaSO_4) y sulfato de calcio (CaSO_4) debido a que el radio típicamente sustituye al bario y al calcio en los sulfatos, originando que estas depositaciones sean radioactivas.

Las concentraciones de radio en las salmueras producidas no son lo suficientemente apreciables para ocasionar daños a la salud, sin embargo, cuando estas incrustaciones



o sedimentos se concentran, los niveles de radiación pueden incrementarse a valores tales que ya no cumplan con las regulaciones al respecto.

El procedimiento considera el tratamiento inicial de los recortes y desechos de perforación, para eliminar los constituyentes radioactivos que ocurren naturalmente debido a su contenido de barita y calcita.

El material a tratar se transfiere a un tanque de almacenamiento o a un contenedor donde se mezclara con salmuera o agua y un surfactante adecuado; los sólidos extremadamente aceitosos requerirán de la adición de un solvente, como pretratamiento para eliminar el exceso de hidrocarburo. Posteriormente se efectúa la separación de los sólidos gruesos, tamizando todo el material a través de mallas No 8, el material retenido en la misma, se elimina del sistema y el remanente se conduce a un mezclador donde se le dosifica dióxido clorado, que es un oxidante fuerte y más surfactante, para su posterior separación mediante un cribado a través de mallas 120 y 175 API para eliminar arena. El residuo se pasa a través de un hidrociclón para concentrar los sólidos y separarlos posteriormente por centrifugado, en este punto, los sólidos separados de acuerdo con sus densidades, son evaluados en cuanto a sus niveles de emisión de

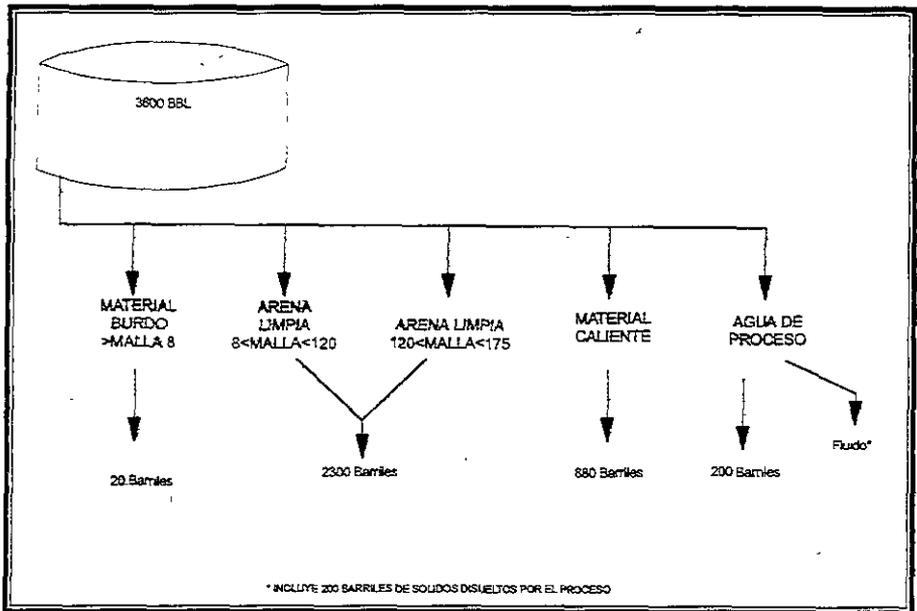


Figura 3.12 Diagrama de proceso



rayos gama, utilizando el método Greenfield que permite la determinación de radiactividad mediante lectura directa de radiación gama; si es posible, adicionalmente a ésta última determinación, se recomienda efectuar mediciones radiométricas de espectroscopía gama como respaldo a las lecturas directas iniciales. Cabe mencionar que estas mismas determinaciones deben efectuarse a cada porción de sólido eliminada. En caso de que la misma registrara valores de 25 a 50 microrems/hora los sólidos deberán reincorporarse nuevamente a la corriente del sistema para eliminar la porción radioactiva.

La porción sólida eliminada mediante centrifugación constituye el grueso del material radiactivo presente, el cual deberá ser depositado en confinamientos autorizados; la porción líquida se trata con polímeros para flocular la arcilla y sedimentos presentes con objeto de facilitar su separación, estos últimos se incorporan al resto del material sólido separado (exceptuando los sólidos radioactivos), para proceder con su posterior solidificación según se describe más adelante. El diagrama del proceso anteriormente descrito se presenta en la Figura No 3.12.

Solidificación de los desechos de perforación

Consiste en la mezcla de los sólidos separados por el procedimiento de eliminación de materiales naturalmente radiactivos, o aquellos desechos de perforación que se haya comprobado no contienen materiales que pueden generar radiactividad, con un 40 – 65% en peso de un material, subproductos de la fabricación del acero formado principalmente por silicatos y aluminosilicatos de calcio y magnesio.

El subproducto considerado como material de desperdicio, ha demostrado mejorar la resistencia a los sulfatos y a la radioactividad a los agregados alcalinos del cemento, se trata de un material no metálico que ha sido "apagado" enfriado rápidamente en agua para convertirlo en una masa amorfa o vitrificada de consistencia semejante a la arena, el cual se seca y muele hasta alcanzar un área superficial entre 400 y 700 m²/kg. Además, este material mejora considerablemente las propiedades hidráulicas del cemento, debido a su alto contenido de silicato de calcio, aunque estas propiedades dependen más del grado de vitrificación, del contenido de silicatos en el material, de su

composición química, de su finura, de la temperatura a la que se ha llevado a cabo la hidratación y las cantidades y la efectividad del químico utilizado como activador.

El procedimiento consiste en la mezcla del lodo de desperdicio o de los recortes con el cemento o silicato, para obtener una lechada que posee excelentes propiedades reológicas que permiten su fácil desplazamiento sin emplear equipo especial.

La fórmula anterior requiere de la adición de materiales químicos de uso común, en el tratamiento de lodos de perforación tales como: óxido de calcio, hidróxido de sodio y soda ash que actúan como activadores en el proceso de solidificación o bien lignosulfato cuya función es, además de adelgazante, retardador del proceso de solidificación. Figura 3.13.

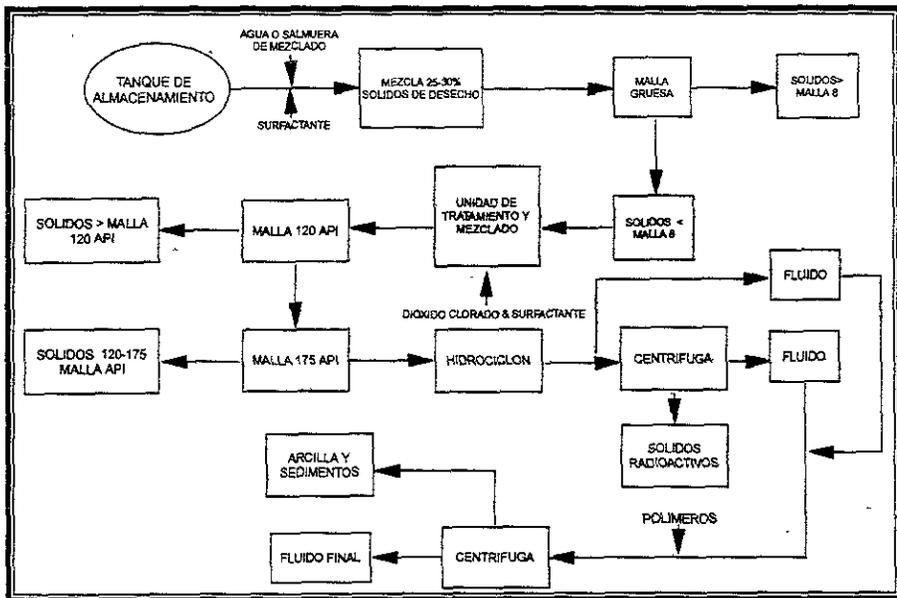


Figura 3.13 Proceso de solidificación

Por las características de la composición y su fácil manejo, ésta tecnología es especialmente útil en aquellas cementaciones donde se tienen altas temperaturas de fondo del pozo. Mientras que el cemento requiere de aditivos más especializados, la mezcla propuesta mantiene buenas propiedades de desplazamiento con poco o ningún aditivo, además de ser una técnica que se puede aplicar en pozos con altas presiones.



3.6 TECNICA 5 ESTABILIZACION Y DISPOSICION DE RECORTES POR CONFINAMIENTO

Como una alternativa para la disposición de los recortes de perforación, la Compañía RIMSA ofrece los servicios de recolección, transporte, almacenamiento temporal, tratamiento físico-químico, reciclado y mezclado para formulación de combustible alterno y disposición final de residuos peligrosos, para lo cual cuenta con los permisos, autorizaciones y licencias necesarias para su operación, otorgadas por las dependencias oficiales como son: SEMARNAP, Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Secretaría de Salud y Asistencia, Secretaría de Comunicaciones y Transporte, Secretaría del Trabajo y Previsión Social

El proceso de confinamiento controlado consiste en que todos los residuos tratados o estabilizados, así como aquellos que por sus características no lo requieran, serán confinados en celdas diseñadas y construidas de acuerdo a la NOM-CRP-006- ECOL/1 993.

Análisis técnico

De acuerdo con la metodología propuesta para la evaluación de proyectos ambientales, dentro de la factibilidad técnica, como una opción, se debe establecer la disponibilidad del tratamiento de estabilización de recortes por confinamiento, dado el nivel tecnológico, la capacidad de la tecnología para manejar los volúmenes estimados dentro de los tiempos estipulados, la seguridad y el riesgo ambiental asociado con cada opción que se ofrece en esta alternativa.

-Asesoría técnica en el manejo y disposición final de los residuos industriales. -

Caracterización de residuos

-Determinación de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad al ambiente, inflamabilidad y biológicos infecciosos(CRETIB)



-Transporte especializado de residuos industriales peligrosos, contando con los equipos necesarios para caso de contingencias.

-Tratamientos físico-químicos para realizar las operaciones de solidificación, estabilización y/o encapsulado. Así como tratamiento de oxidación y/o reducción, si así lo requiere el residuo.

-Biorremediación para reducir la toxicidad y minimizar la cantidad de contaminantes.

-Remediación y saneamiento de sitios contaminados mediante muestreo y programas de saneamiento del lugar de acuerdo a la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente.

-Disposición Final. Se cuenta con celdas para disponer de residuos, con sistemas de impermeabilización y captación de lixiviados cumpliendo con las normas oficiales Mexicanas.

- Metodología de operación

Laboratorio:

Todos los residuos que llegan al confinamiento son muestreados y analizados por el laboratorio para definir el tratamiento requerido en cada caso y su destino final.

Descripción detallada

Estabilización (Solidificación/Fijación).

La estabilización se realiza en dos lugares: Para los residuos que sean transportados en tambores, se hará en el mismo tambor cuando no represente riesgo o de lo contrario se incorporarán los residuos a granel para el mezclado en la planta móvil de alta capacidad.



Los residuos a granel se enviarán a la unidad móvil de estabilización en la zona de mezclado.

Los lodos se solidifican mezclando el residuo con un absorbente. Se utiliza el término solidificación/fijación porque el absorbente no sólo solidifica cualquier líquido libre debido a la absorción, sino que también experimenta una reacción química con la cal, mediante la cual se produce la fijación (inmovilización) del agua y sus componentes peligrosos. La alta alcalinidad también precipita a la mayoría de los metales reduciendo la posibilidad de migración una vez confinados en celdas. Los siguientes ejemplos muestran las reacciones químicas que tienen lugar en este proceso:



Encapsulado:

La estabilización química y microencapsulación de un residuo inorgánico con metales pesados consiste en la conversión de los metales pesados solubles (plomo) en compuestos insolubles. La microencapsulación consiste en el tratamiento físico de las partículas en materiales sólido sílico-aluminosos.

El residuo se mezcla íntimamente con reactivos que a la vez que insolubilizan los metales desarrollan solidez y retienen agua en sus matrices, tanto física como químicamente. El desarrollo de matrices rígidas sella la estructura porosa del producto resultante de la mezcla y lo vuelve impermeable e inerte.

Con la adición de los reactivos como portlandita, larnita, silicoaluminato de calcio y magnesio; el plomo forma primeramente un hidróxido de plomo, posteriormente, con el tiempo, el $\text{Pb}(\text{OH})_2$ se convierte en un carbonato de plomo en contacto con el aire. La solubilidad del $\text{Pb}(\text{OH})_2$ es de 0.014 (en 100 partes de agua) y la del carbonato es de 0.0001; esto es, el carbonato de plomo es 140 veces menos soluble que el hidróxido de



plomo, por esta razón el material se vuelve más inerte a medida que pasa el tiempo y todo el hidróxido de plomo se convierte en carbonato de plomo. Los productos adicionales de las reacciones son compuestos complejos de silicatos, aluminatos, silicoaluminatos y sulfoaluminatos, los cuales son perfectamente compatibles con el medio ambiente natural.

Neutralización:

Se basa en el simple principio químico de que los materiales ácidos y alcalinos que pueden mezclarse y llevarse a un pH neutro, reduciendo significativamente su naturaleza corrosiva y reactiva. De hecho, el pH se mantiene levemente alcalino (9,5-10,5), para precipitar los metales pesados que pudieran existir; luego los residuos neutralizados se filtran a fin de separar los sólidos, los cuales se confinan en las celdas y el agua se envía a los tanques de almacenamiento de agua tratada y podrá ser utilizada para humidificar alguna mezcla sólida para fijación.

Oxidación:

El residuo conteniendo cianuro es tratado en un reactor con una solución de hipoclorito de sodio como agente oxidante, y además, dosificando una solución de hidróxido de sodio se controla el pH al nivel requerido, como se muestra en las reacciones:



Con el exceso de hipoclorito, el cianato se oxida posteriormente para formar nitrógeno y carbonato.



Reducción:



En este proceso se pueden tratar residuos que contienen iones metálicos o moléculas orgánicas que pueden someterse a reducción, tal como soluciones acuosas o ácidas que contienen cromo hexavalente, soluciones acuosas con trazas de metales pesados y soluciones organometálicas.

Degradación:

El proceso de biodegradación utiliza microorganismos para transformar un residuo tóxico por su contenido de hidrocarburos en un compuesto no tóxico. Para lograr lo anterior, el residuo se mezcla con arena para reducir la concentración de hidrocarburos, incrementar la porosidad de la mezcla, factor esencial para incrementar la disponibilidad de nutrientes y oxígeno. Además, es necesario agregar nutrientes con el contenido adecuado de nitrógeno y fósforo requeridos para promover la biodegradación, mantener el contenido de humedad tal que no inhiba la actividad bacteriana y no afecte la oxigenación, la cual es muy importante para mantener el proceso. Cuando los residuos han alcanzado niveles de toxicidad inferiores a los límites señalados en las Normas Oficiales Mexicanas, son confinados en celdas.

Mezclado:

El proceso de mezclado de residuos para combustible secundario en hornos de Elinker de plantas cementeras, se realiza iniciando el mezclado en dispersores con agitación continua de los diferentes residuos que conformará el combustible. El mínimo contenido de poder calorífico de un residuo para ser considerado en la mezcla, deberá ser de 5,000 Kcal/kg., considerándose críticos los halógenos como el cloro, plomo y yodo así como el contenido de azufre; la mezcla lograda tendrá que ser estabilizado a un pH de 6.5

El poder calorífico final de la mezcla deberá ser como mínimo de 9,000 Kcal/kg., después del mezclador o difusor, se pasará a un reductor de partículas de alta velocidad



hasta lograr 1.25 cms de la partícula más grande en suspensión. El material mezclado, cumpliendo con las características mínimas indicadas, será almacenado y posteriormente transportado hasta los tanques de almacenamiento de las plantas cementeras para dosificarse en los hornos de Elinker.

El proceso de confinamiento controlado consiste en que todos los residuos tratados o estabilizados , así como aquellos que por sus características no lo requieran , serán confinados en celdas diseñadas y construidas de acuerdo a la NOM-CRP-006-ECOL/1993.

De acuerdo con el análisis, el proceso de confinamiento de los recortes de perforación cumple con la normatividad establecida por la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente de acuerdo a las Reglamentaciones Mexicanas.

El confinamiento cuenta con las siguientes áreas:

Superficie total de confinamiento	1,400 hectáreas
Superficie individual de:	
- Planta de tratamientos	12, 000 m ²
- Centros de Transferencia	5, 000 m ²
- Patio de maniobras para centros de transferencia	2, 500 m ²
- Patio de roll-off	5, 000 m ²
- Taller y patio de mantenimiento	10, 000 m ²
- Almacenes de materiales	2, 000 m ²
- Planta de reciclado	1, 500 m ²
- Planta de combustible alternativo	1, 000 m ²
- Planta de neutralizado	1,500 m ²
- Celda de biotratamiento	15, 000 m ²
- Baños y vestidores	600 m ²
- Oficinas de operaciones	700 m ²



- Oficinas administrativas	500m ²
-Laboratorio	200 m ²

Capacidad de tratamiento mensual.

- Suficiente para manejar las necesidades de Pemex.

En la figuras 3.14, 3.15, 3.16, 3.17 Y 3.18 se muestran de manera esquemática el proceso que se desarrolla para estabilizar los recortes, el diagrama de flujo de la recepción de los residuos peligrosos y la construcción de una celda de confinamiento.

-Extintores para polvo químico tipo a,b y c de 10 y 30 kg. respectivamente.

- Señales para carretera
- Reflectores
- Bengaias
- Planta de luz

La Técnica de confinamiento controlado se lleva cabo bajo la siguiente metodología:
Recolección en cajas metálicas con cierre hermético.

Se capturan los recortes de las temblorinas, los limpiadores de lodo y las centrífugas en gusanos transportadores interconectados para su depositación en el interior de las cajas metálicas con capacidad que varía entre 2.0 y 4 m³/caja dependiendo del proveedor.

Tipo y frecuencia de mantenimiento de equipo pesado

- Mantenimiento preventivo diario
- Mantenimiento correctivo.- Cuando es necesario.
- Mantenimiento mayor cada 5 meses, trabajando al 100%.

Las refacciones para los mantenimientos de los equipos, así como los diferentes reactivos químicos utilizados en los procesos, son de importación.

Análisis económico:

Figura 3.14

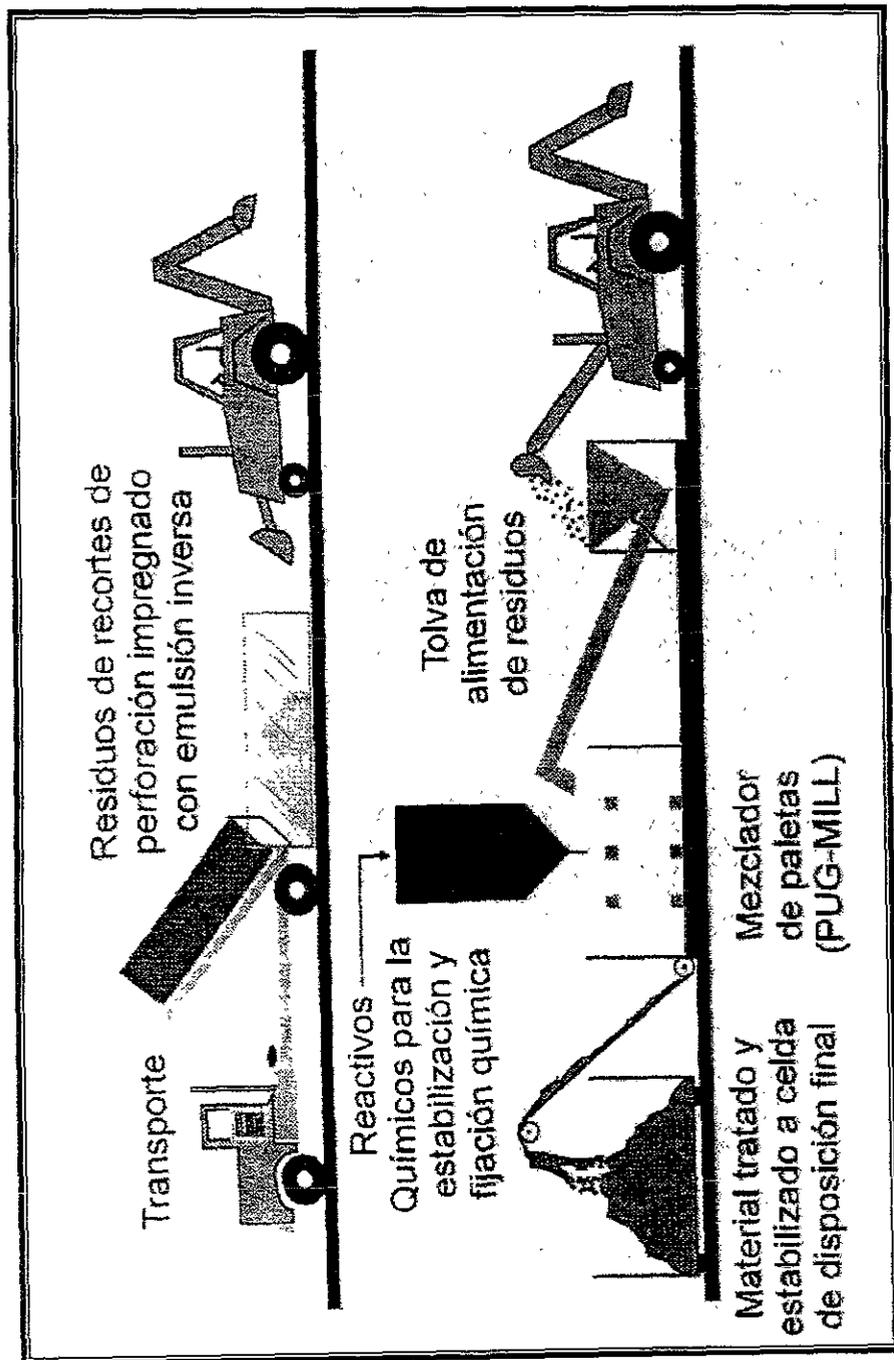


Figura 3.15

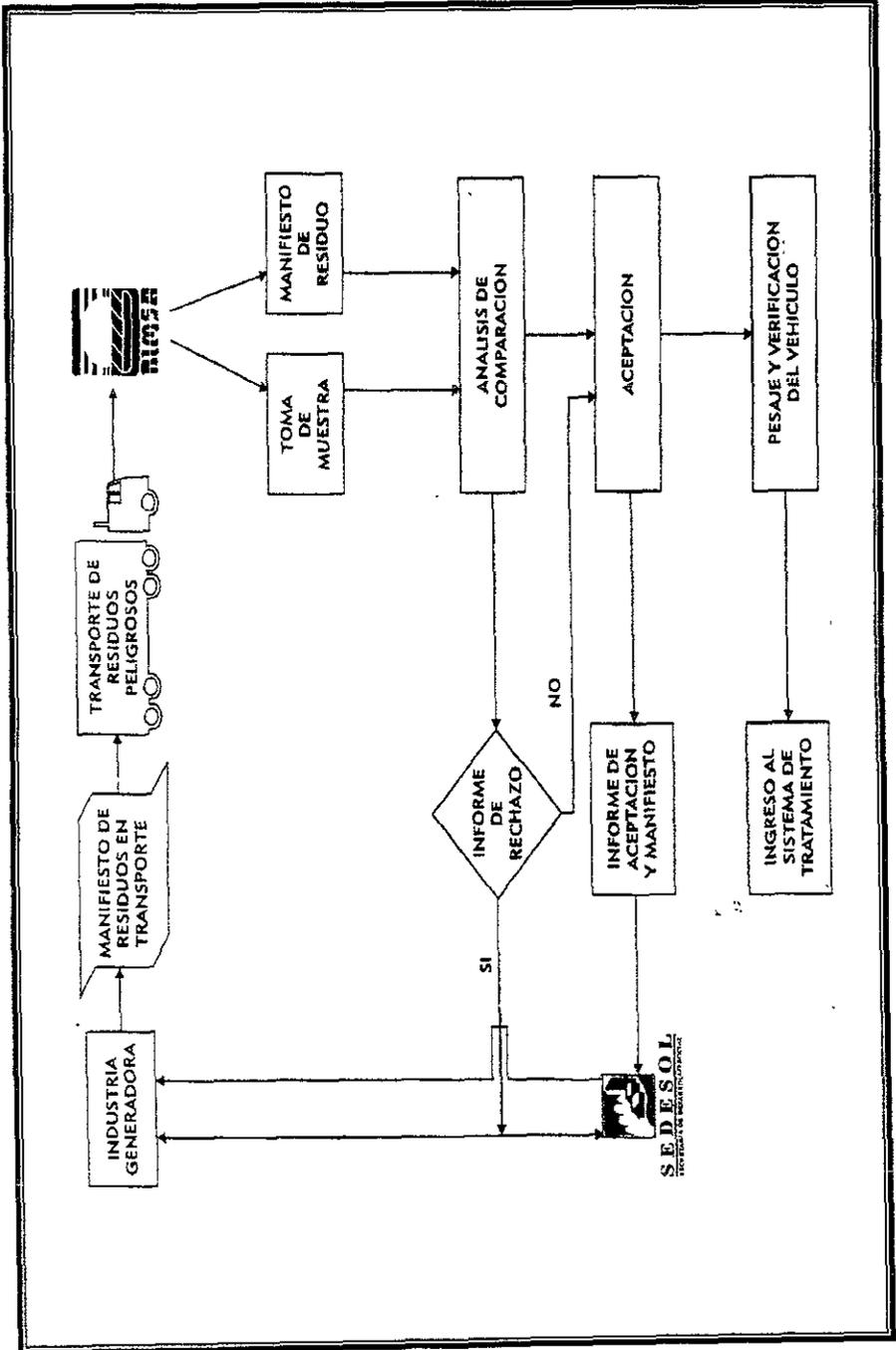


Figura 3.16

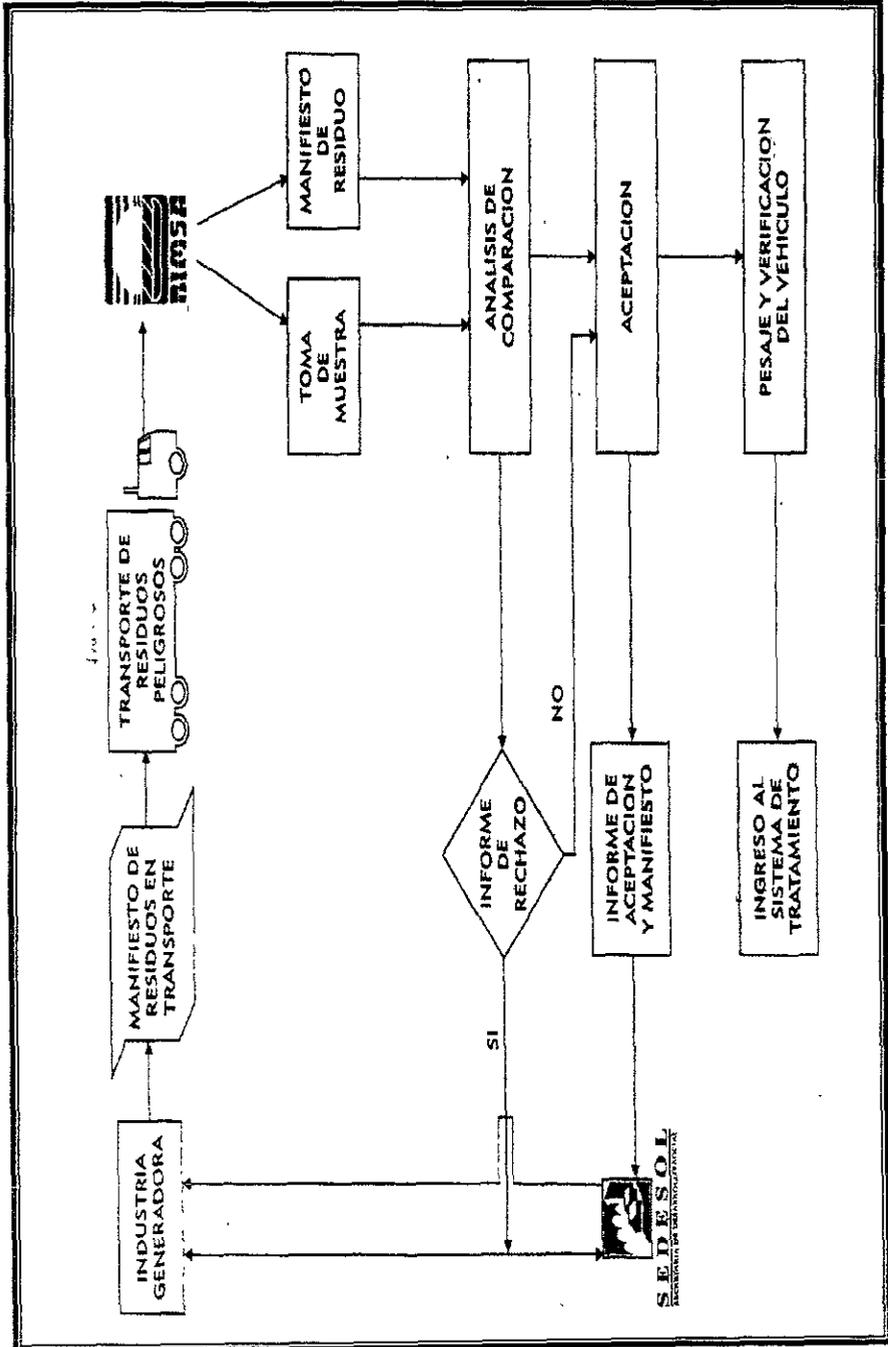


Figura 3.17

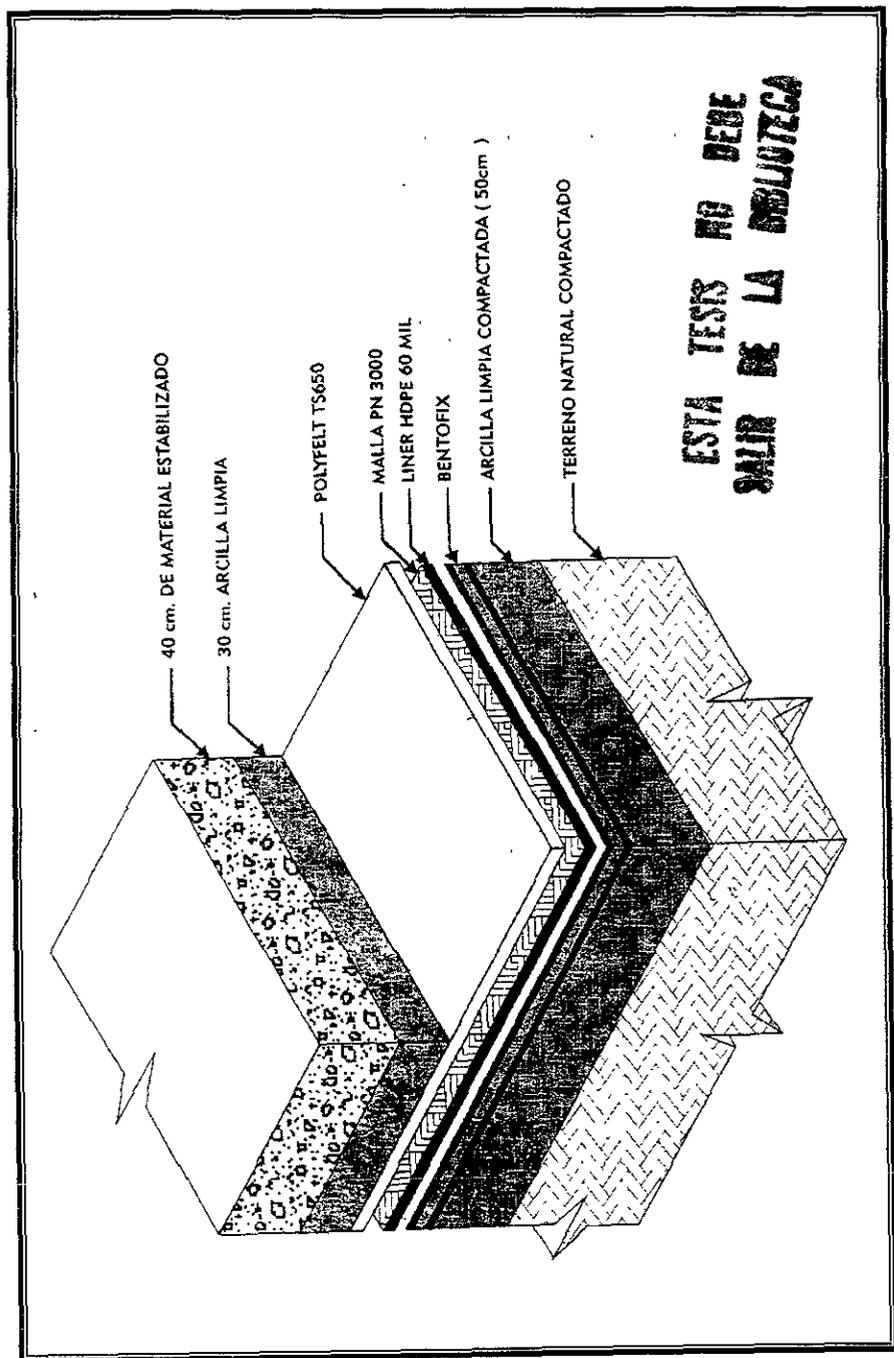
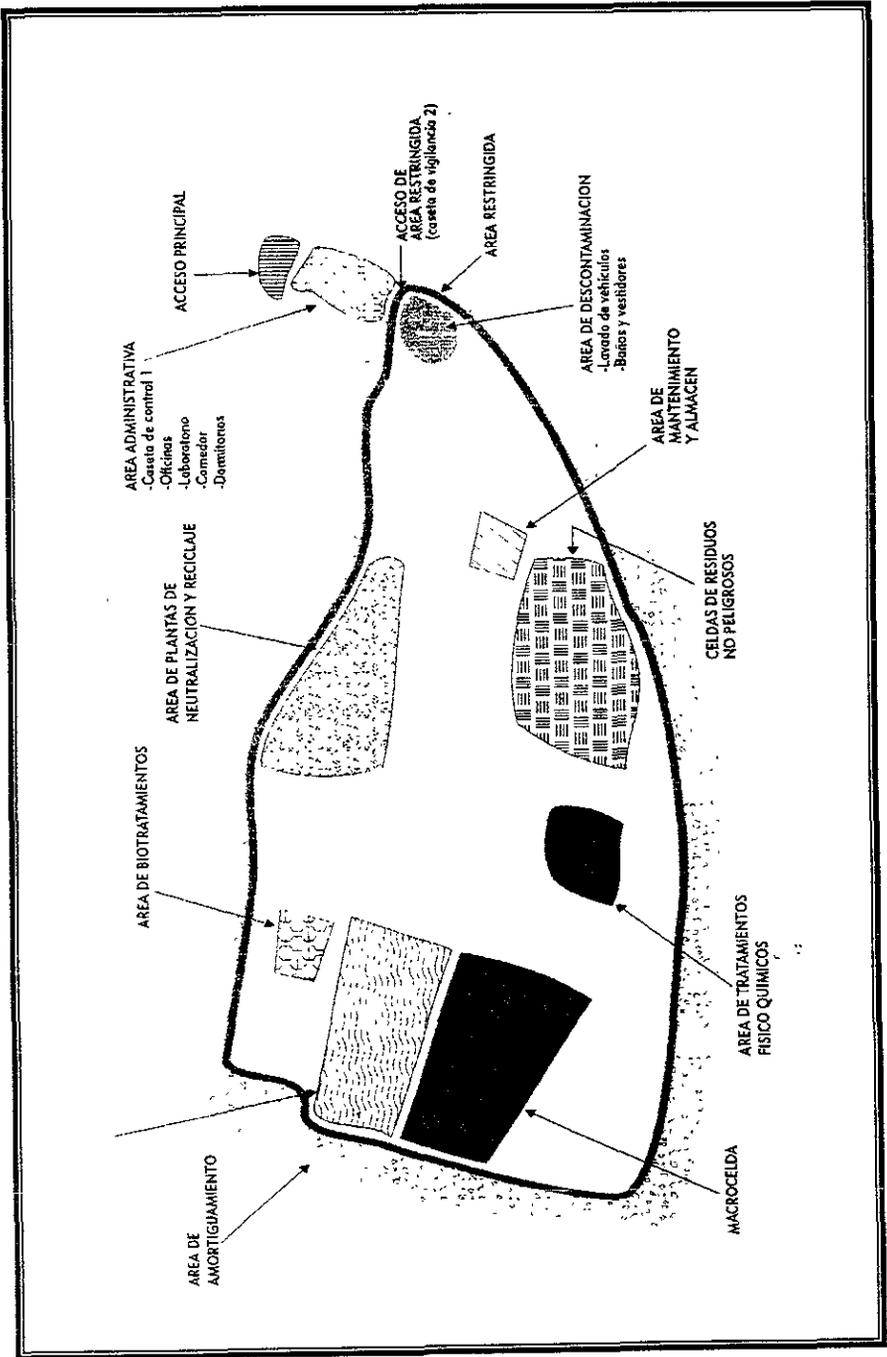


Figura 3.18





Como una base comparativa, se estima que para un agujero de 12 1/4", considerando un 20% de ampliación, una impregnación del 20% del recorte con la emulsión inversa, su transporte y disposición final cuesta alrededor de 180 dolares metro perforado.

Para establecer un costo unitario por tonelada de recorte, se requiere de ciertos datos entre los que destacan:

- Volumen del recorte
- Características del recorte
- Lugar de entrega de los recortes
- Entrega por día

La iniciativa privada, estiman un costo de tratamiento y disposición de recortes provenientes de la perforación de pozos petroleros de 187 dls, para un mínimo de 34 toneladas, puestos lo recortes en Dos Bocas.

Costo total:

Costo de tratamiento	187 dls
Costo de transporte estimado	35 dls
Costo total de tratamiento	222 dls/ton

Análisis técnico

Estos residuos se ordenan de acuerdo a su estado físico en los siguientes tipos:

- Lodos de emulsión inversa.
- Sólidos de Recortes de Perforación.
- Líquidos contaminados o lixiviados de los residuos antes mencionados. Los materiales generados en el proceso de perforación, son considerados como residuos peligrosos,



con riesgo de causar un impacto al medio ambiente, a los cuerpos de agua, flora y fauna o las personas que pudieran estar en contacto.

Los lodos y sólidos de recortes de perforación de pozos petroleros se confinarán directamente en celda de confinamiento después de un proceso de adecuación o tratamiento.

De acuerdo a los resultados de los muestreos, se determinará el tratamiento necesario para los diferentes lotes, manejándolos del área de almacenamiento temporal o de tratamiento a la celda de confinamiento.

Clasificación de los residuos:

Los residuos se clasifican dentro de la industria petrolera y petroquímica como residuos peligrosos por ser material sólido y lodos contaminados con hidrocarburos y que contienen sustancias tóxicas al ambiente.

Por otra parte, la mayoría de los residuos que se recibirá son:

- Material de perforación de pozos petroleros
- Hidrocarburos impregnados
- Lodo de emulsión inversa
- Material con bentonita

Los materiales líquidos no se pueden confinar directamente (NOM-CRP-006-ECOL/93), por lo que se les realizará un tratamiento físico antes de su disposición final.

Tratamientos.

Se proponen tres opciones:

- a) Para recortes con 35% máximo de sólidos, 65% líquidos.
- b) Para recortes con aceite y agua con contenido mayor a 5% y 30%, respectivamente.
- c) Par recortes con aceite y agua con contenido menor a 5% y 30%, respectivamente.



En el caso del manejo de los residuos el tratamiento es en el sitio y posteriormente se trasladan los residuos sólidos tratados.

Por tratamiento físico se entiende toda aquella operación de triturado, mezclado, evaporación solar, encapsulado, éste sirve para adecuar las características físicas de un producto para su disposición final. Por ejemplo, para el tratamiento de residuos de recortes se les agregará una mezcla de arcilla-cemento-cal, para su estabilización.

Sitio de aplicación

Requerimientos de acuerdo al sitio:

Espacio. En relación con la Clasificación de los residuos y los Tratamientos, el espacio requerido será de aproximadamente 4,000 m²

Equipo

Para el desarrollo de los procesos se cuenta con el siguiente equipo:

- Centrífuga
- Espesador
- Gusano portátil
- Batidor
- Tamizador
- Super decantador
- Silos de almacenamiento de reactivos
- Tornillo o gusano sin fin
- Cinta transportadora de alimentación
- Cribadora
- Mezcladora inertizadora confinada



Análisis económico

Para proporcionar un costo aproximado se requiere de la caracterización completa de los recortes de perforación, así como del volumen total que será tratado y manejado para su disposición final.

3.7 TECNICA 6 EXTRACCION CON SOLVENTES

Análisis técnico

Descripción del proceso

Los recortes generados se reúnen en un tanque almacenador, que controla el tamaño de los recortes para que la alimentación a la planta tenga una entrada uniforme y con esto aumentar la eficiencia del proceso del tanque de almacenamiento, los recortes se transportan con un tornillo sin fin dentro de un tanque de agitación sellado. El solvente y el concentrado (aceite/solvente) de la centrífuga se mezclan con los recortes por medio de una entrada reguladora. Esto asegura que la carga de aceite en el solvente es aproximadamente de 25- 35%. Lo cual incrementó la posibilidad para que el fluido transporte los recortes a la centrífuga y minimiza la alimentación al evaporador. En un tiempo mínimo de 30 segundos se requiere que permanezca en el tanque de mezclado a temperatura ambiente, durante dicho tiempo el lodo de emulsión inversa se rompe, los hidrocarburos asociados con los recortes se disuelven dentro del solvente, y la fase acuosa asociada con el lodo se absorbe dentro de los recortes.

La pasta de los tanques de mezclado se bombea a un ritmo controlado al tanque y dentro de la carcasa sellada de un decantador centrífugo. Debido a la gran diferencia de densidad entre la fase sólida y la fase líquida (aproximadamente 2.1 y 0.8 respectivamente), y la baja viscosidad (2 cst) de la fase líquida, la separación de los sólidos es eficiente. (Ver Figura No. 3.19).

Figura 3.19

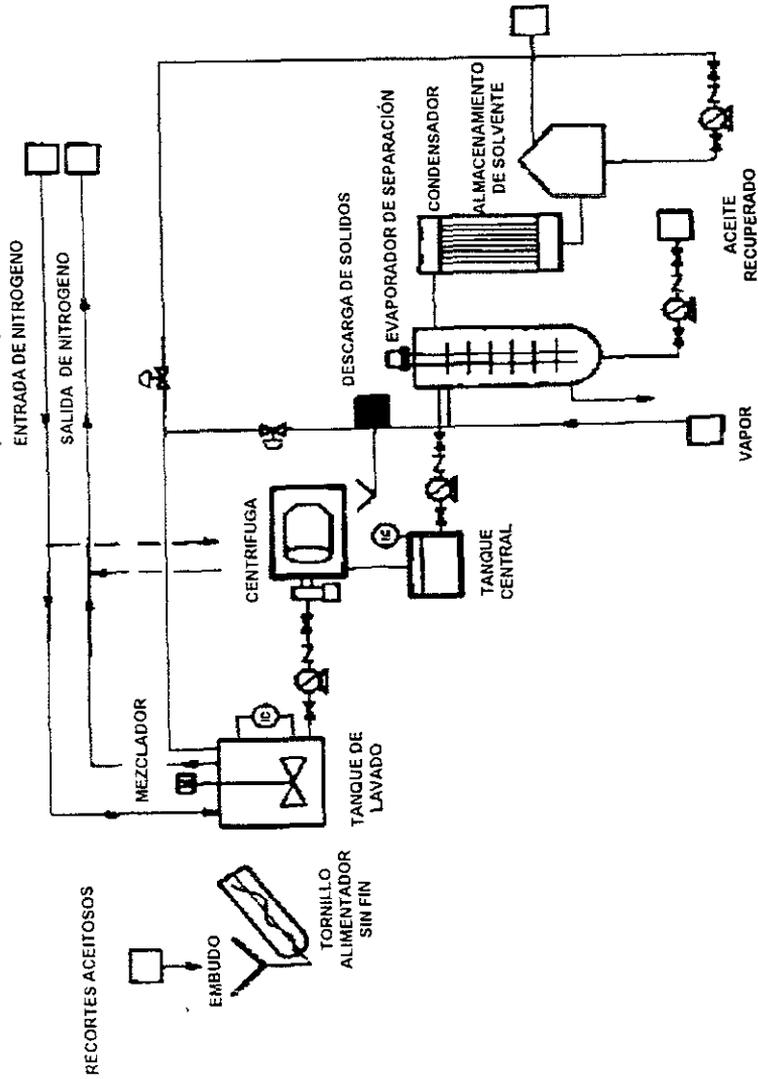
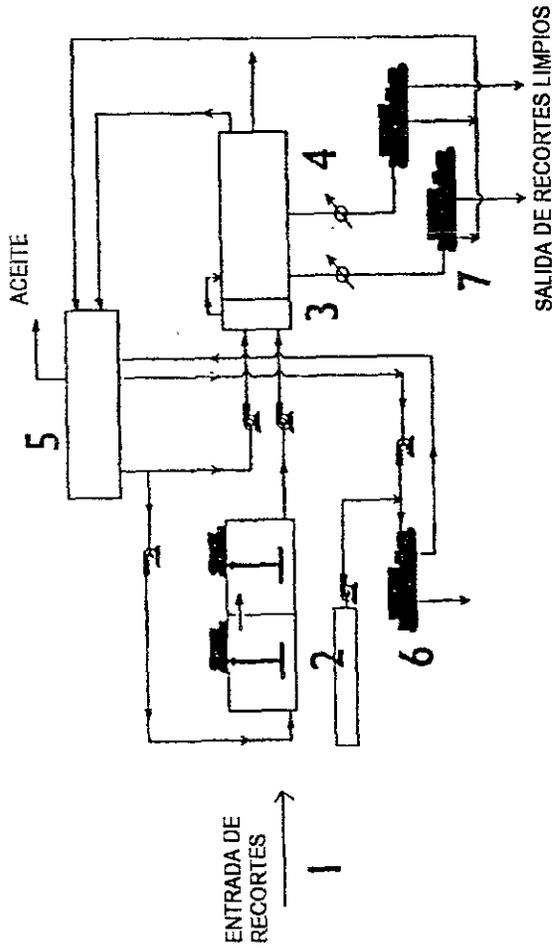


Figura 3.20





Los sólidos se descargan de la alimentación por gravedad de la centrífuga, dentro de una pequeña tolva con un transportador de tornillo sin fin. El transportador entrega los sólidos

El concentrado (solvente al agua) que sale al final se almacena en un tanque. Para asegurar la máxima eficiencia de la planta, una porción del concentrado se regresa al tanque de mezclado, con ésto el aceite en la alimentación del solvente al evaporador es mayor al 30 %. Este reflujo todavía asegura menos del 1 % de aceite en recortes mientras se minimiza el flujo de solvente al evaporador.

La alimentación al evaporador es por vía de un precalentador para incrementar la temperatura a 5°C abajo del punto de ebullición del solvente. El evaporador es una unidad de limpieza de diafragma, la cual se usa convencionalmente para recuperar el solvente. La unidad trabaja bajo vacío, más o menos a 0.25 - 0.50 bar, con una fuente de calor de 400 kw a 130 - 140°C. Esta fuente termal puede ser vapor, o el aceite caliente recuperado en la plataforma. (Ver Figura No. 3.20.)

Dentro del evaporador la fase del solvente evaporado se saca y pasa a un condensador con agua de mar, donde el solvente condensado pasa por un serpentín y se reduce su temperatura por abajo de los 30°C. Dicho solvente es entonces bombeado de regreso al tanque principal donde pueda ser reusado en el tanque de mezcla.

El aceite y otros hidrocarburos asociados con el lodo base aceite original, se recuperan por la base del evaporador dentro de un tanque sellado de recuperación de aceite, de donde se regresan a las presas del lodo para su reuso. Los sólidos ultra-finos con concentraciones menores a 5% se recuperan con el aceite; sin embargo, los análisis han demostrado que la mayor parte de esos sólidos son aditivos del lodo, por ejemplo arcillas de aminas tratadas, etc., mismas que son benéficas finalmente.

Análisis económico

**Inversión inicial**

Costo de transporte al sitio de tratamiento:	70,000	dls
Costos de instalación	50,000	dls
TOTAL	120,000	dls

Instalación entierra

Costo de renta y combustible, personal, IVA, etc	24,000	dls
Costo de transporte estimado	3,200	dls/día
TOTAL	27,200	dls/día

Considerando que a la vez se perforan 4 pozos con la etapa de emuisión inversa Se tendrá un costo total por pozo de: 6,800 dls/día

Se tiene una producción de recortes diaria por pozo de aproximadamente 24 ton, lo que equivale a tener un costo estimado de tratamiento por tonelada de 283 dls.

Lo que resulta económicamente factible, además de que en el tratamiento de recortes terrestres, con ésta producción diaria de recortes (96 ton), la planta trabajaría al 60 % de su capacidad nominal, que es de 160 ton/día.

3.8 TECNICA 7 EXTRACCION CON SURFACTANTES

Análisis técnico

El sistema de lavado de recortes está diseñado para separar el aceite contenido en los recortes, y posteriormente desecharlos al mar, separando los fluidos (solución lavadora, aceites y sólidos finos). Los sólidos finos de hasta 5 micras se eliminan de los fluidos mediante una separación centrífuga bifásica. Las partículas sólidas ultrafinas (menores a 5 micras), se separan mediante proceso trifásico de los líquidos y estos, a su vez se bifurcan de las aguas aceitosas.



Metodología de operación

fase I.

Lavado del recorte.- Todos los sólidos generados durante la perforación (recortes y productos enviados de los equipos de control de sólidos del lodo), se canalizan hacia la parte inicial del proceso de lavado, mediante bandas transportadoras o tornillos sin fin, hacia un tanque, el cual está equipado con un tambor lavador, donde los recortes se movilizan por medio de una solución lavadora (compuesta por 95% de agua y 5% de detergente), con el fin de iniciar la limpieza mediante el contacto del fluido y el sólido.

El tambor lavador recibe los sólidos y la solución lavadora y mediante movimiento rotacional (10 a 25 RPM según necesidad), separa de los recortes el aceite impregnado; el tiempo de contacto variará dependiendo del contenido del aceite, recorte y producto lavador (de 2 a 5 min).

En la descarga del tambor se coloca una criba o temblorina, la cual detiene y seca a los sólidos (recorte limpio) y permite por gravedad el paso del fluido, el contenido de este último está compuesto por la solución lavadora con cierto grado de desgaste, aceites separados del recorte y sólidos finos no detenidos por la criba. (Menores a 11.7 micras).

Para que el proceso sea eficiente, los recortes limpios no deben tener un contenido mayor al 10% en peso de aceite (que es la norma marcada) y se debe separar entre el 85 y 90% de los sólidos totales. De acuerdo a lo anterior, éstos pueden vertirse al mar. La fase líquida conteniendo agua del lavado, aceite libre, emulsión y recortes finos, se bombea a un tanque de separación.

Separación líquidos-sólidos.- El líquido filtrado por la criba proveniente de la primera etapa consiste de solución lavadora, aceites separados y sólidos finos, por lo tanto, se requiere una separación bifásica líquido-sólido para eliminar la mayoría de los sólidos.



Haciendo circular la mezcla a través de un separador centrífugo de dos fases donde se eliminan sólidos de hasta 5 micras.

fase II

El sólido así separado se vierte al mar, y como el porcentaje de aceite impregnado tanto en peso como el volumen de sólidos, no es alto (hasta 10-12%), y combinado con el del recorte la concentración en peso total no excede a la norma estipulada.

Separación de sólidos-agua-aceite.- La fase líquida descargada en la etapa anterior contiene una solución lavadora, aceite, sólidos ultrafinos y emulsiones, por lo que se hace pasar por un separador trifásico de acción centrífuga, eliminando los sólidos (contenido de aceites del 10%) y separando aceites y aguas.

El sólido se vierte al mar, el aceite puede reusarse (en preparar lodos), o bien se almacena para su traslado a disposición, y el agua con solución lavadora con un grado de desgaste, se puede dirigir nuevamente al inicio del proceso para continuar su acción hasta que esté totalmente desgastada.

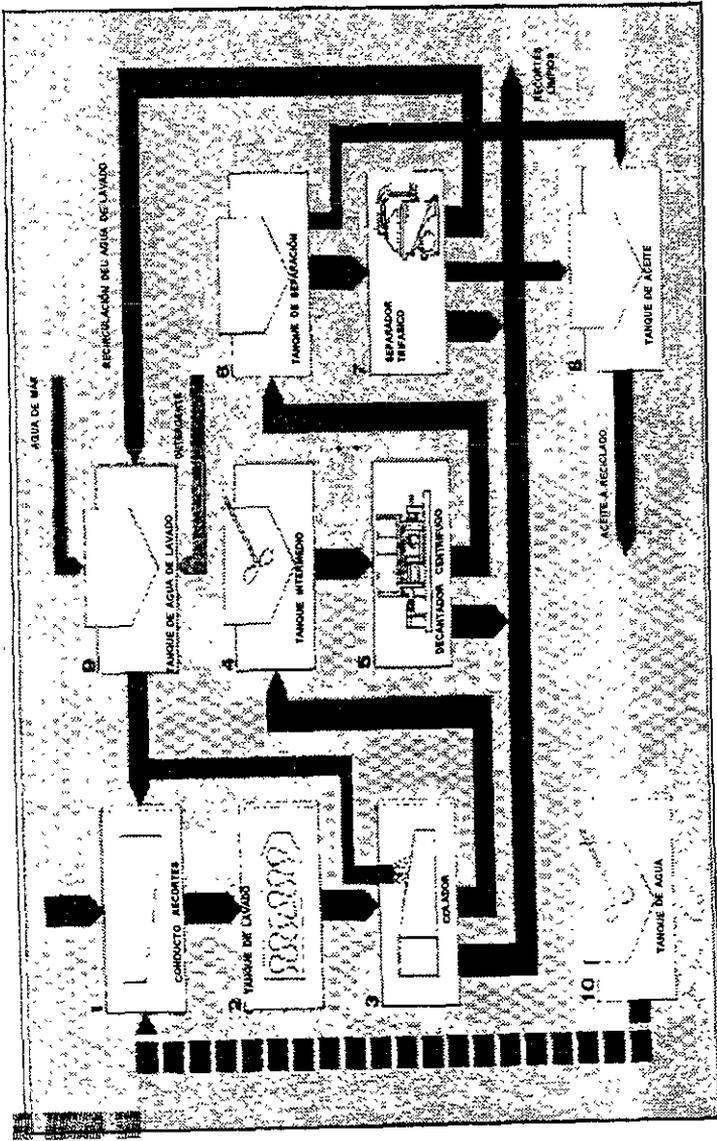
En la figura 3.21 se muestra la planta de lavado para el tratamiento de recortes contaminantes.

Equipo

Sistema transportador de recortes.- Transporta los recortes de la temblorina al tanque de lavado mediante bandas transportadoras o un tornillo sin fin.

Tanque de lavado.- Para la mezcla de los recortes, permite que el agua de lavado libere completamente el aceite. El tiempo de residencia se puede regular por la velocidad de rotación del tanque; la temperatura del agua de lavado también puede ser ajustada.

Figura 3.21





Tamiz vibrador.- El agua de lavado, aceite libre, emulsiones y recortes finos pasan a través de este tamiz.

Tanque intermedio.- Mantiene la mezcla homogénea para una óptima separación, y también permite el contacto prolongado entre el agua lavadora y los sólidos finos.

Decantador centrífugo de sólidos y líquidos.- Los recortes mayores de 5 micras son centrifugamente separados de la mezcla en una operación continua. Los recortes salen listos para enviarse al mar. La fase líquida, es bombeada a un tanque de separación.

Tanque de separación.- Los recortes son separados de la mezcla y el aceite es bombeado a un tanque recuperador. El flujo del tanque de separación consiste de aceite libre, agua de lavado y recortes finos, y es bombeado a una centrífuga de disco de tres fases para la separación final.

Separador trifásico.- En la centrífuga de disco, el aceite, el agua de lavado y los recortes finos son eficientemente separados unos de otros con una simple operación. La fase aceite es bombeada hacia el tanque para reuso, el agua de lavado es reusada y los recortes finos son enviados al mar.

Tanque de aceite.- Se deposita el aceite recuperado

Tanque de agua de lavado.- Se almacena la solución lavadora

Tanque de agua de drene.- Se recolectan los posibles derrames de la plataforma y se procesan junto con los recortes.

Análisis económico

Se requiere de un pago de 65,000 dls como gastos de transporte, y 50,000 dls de instalación de equipo de movimiento de recorte.



Inversión inicial

Costo de transporte al sitio de tratamiento:	65,000 dls
Costos de instalación	50,000 dls
TOTAL	115,000 dls

Instalación costa afuera

Costo de renta (Incluye personal y material)	6,483 dls
IVA	972 dls
TOTAL	7,455 dls/día

Considerando una producción diaria de 24 ton. por pozo, se tendrá:

Costo estimado por tonelada =	310 dls/ton
-------------------------------	-------------

Sin considerar el tiempo de espera que se tendría hasta perforar la siguiente etapa con lodo de emulsión inversa, lo que prácticamente lo hace incosteable.

Instalación en tierra

Costo de renta y combustible (incluye personal y material)	6,483 dls
Costo estimado de transporte	3,200 dls/día
Subtotal	9,683 dls/día
IVA	1,452 dls
TOTAL	11,135 dls/día

Considerando que a la vez se perforan 4 pozos con la etapa de emulsión inversa Se tendrá un costo total por pozo de

2,784 dls/ton



La producción de recortes diaria por pozo, es de aproximadamente 24 ton, lo que equivale a tener un costo estimado de tratamiento por tonelada de 116 dls.

Lo que resulta económicamente factible y puede implementarse además para el tratamiento de recortes terrestres, ya que con esta producción, la planta trabajaría al 60 % de su capacidad nominal que es de 160 ton/día.

3.9 TECNICA 8 TRATAMIENTO CON ENZIMAS

Análisis técnico

Metodología de operación

El sistema EnviroZyme (EZS), es un proceso mecánico que se basa en un flujo acuoso continuo a temperatura ambiente; diseñado para remover al mismo tiempo aceite y cloro a los niveles establecidos y poder reciclar el aceite recuperado usando una corriente continua de solución limpiadora enzima/agua en contra flujo.

El Sistema Envirozyme para lavar recortes/suelos utiliza una enzima estabilizada (una de varias) que fue desarrollada y producida de un cultivo base patentado, mismo que se procesa como una solución catalítica enzimática. Aunque las enzimas naturales no son estables, el mecanismo de estabilización usado en este caso particular de producción, almacenamiento, transporte y uso en el campo no pierde su efectividad.

Las enzimas usadas tienen la propiedad de romper la molécula de agua, liberando un átomo de hidrógeno y dejando una molécula de hidróxido OH. Lo cual permite que el átomo de hidrógeno se una a los átomos de carbono con mayor valencia. Las cadenas largas de hidrocarburos se rompen y se reorganizan como cadenas cortas y originan nuevos productos.

Las enzimas también separan las placas de arcillas al eliminar las fuerzas intermoleculares y reducir la tensión interfacial, con esto facilita la liberación de



hidrocarburos de formaciones difíciles. Esto también reduce los cloruros en los sólidos limpios lo cual puede favorecer el empleo de estos para relleno de terrenos.

La solución de enzimas es un verdadero catalizador y puede reusarse sin grandes pérdidas en volumen. Se pueden agregar cantidades adicionales de enzimas solamente para remplazar las pérdidas debidas a la dilución por entrada de agua acarreada por los sedimentos o partículas de formación y para remplazar la solución enzima/agua que sale con los sólidos limpios.

Los hidrocarburos recuperados pueden ser vendidos en una base comercial o pueden ser reciclados dentro de un proceso industrial. Esta última opción está siendo investigada para reciclar el aceite recuperado en los lodos base aceite original.

Los principales pasos del sistema son los siguientes

- 1.-Manejo de material y preparación.
- 2.-Sección de mezclado Materia/fluido

Para ilustrar los lugares a donde es posible aplicar esta tecnología, se describen algunos casos históricos:

a) El sistema fue usado en Michigan USA durante la última mitad de 1992, para remediación de suelos contaminados con hidrocarburos y con sal por casi treinta y cinco años de producción, la cual fue recientemente abandonada.

En muchos años, los derrames de los tanques de almacenamiento y las presas de incineración y otras áreas que retienen crudo se contaminan de manera notoria durante su utilización.

b) Otro caso fue, cuando el sistema fue instalado en una refinería de California para limpiar el sedimento de los tanques. Debido a la peligrosidad de la área, todos los tanques se cubrieron y ventilaron por un filtro de carbón para eliminar cualquier riesgo por gases explosivos y compuestos orgánicos volátiles.

c) Durante pruebas en Texas, se procesaron con el sistema EZS, varios baches de 20 toneladas cada uno de recortes contaminados con aceite.

Estas pruebas fueron hechas con la finalidad de reducir los hidrocarburos totales por abajo de 1.0 % (10, 000 ppm)

TABLA 2.1

MUESTRA	ANTES	DESPUÉS
Sólido	135,143 ppm (18.5%)	3,000 ppm (0.3%)
Agua del Proceso	nr	88 ppm (0.0%)
Aceite del Proceso	nr	180,000 ppm (18.0%)

TABLA 2.2

MUESTRA TPH	ANTES	DESPUÉS
Sólido	179,800 ppm (18.0 %)	705 ppm (0.3 %)
Agua del Proceso	nr	no detectado
Aceite del Proceso	nr	175,600 ppm (11..8 %)

nr= no registrado

TABLA 2.3

MUESTRA	ANTES	DESPUÉS
Sólido	120,000 ppm (12.0 %)	4733 ppm (0.5 %)
Agua del Proceso	nr	no detectado
Aceite del Proceso	nr	118,000 ppm (11..8 %)

EQUIPO

Descripción

Todos los componentes, incluyendo bombas y equipos de procesos están montados en patines y a prueba de explosión para uso en ambientes peligrosos.

El equipo del sistema EnviroZyme (EZS) fue originalmente desarrollado como una unidad transportable para procesar los recortes de perforación impregnados con aceite. También ha sido empleado para limpieza del fondo de tanques y los desechos remanentes. La figura 3.22 ilustra los principales componentes y el flujo típico del proceso para el EZS .



Los recortes contaminados se transportan de la fuente al sistema por gravedad, mediante un tornillo sin fin o cualquier otro medio mecánico de donde llega a un tanque de agitación. En este tanque los sólidos se combinan con la solución de enzimas para formar una 'pasta bombeable, con una relación del 15% - 50% de sólidos por volumen.

La agitación vigorosa asegura la máxima humectación de los sólidos contaminados con la solución de enzimas. La pasta de sobreflujo es retornada al tanque de alimentación para una agitación adicional y es bombeada por una bomba de tornillo excéntrico al dispositivo de mezclado.

Este dispositivo (patentado) de mezclado consiste de un cilindro interno con una boquilla tangencial y un cilindro exterior. La pasta de recortes es bombeada dentro del cilindro interior y combinada con la solución de enzimas bombeada a alta presión dentro del cilindro exterior. La presión diferencial fuerza a las dos corrientes a combinarse, esto provoca la completa exposición de todos los sólidos a la solución de enzimas.

La solución de recortes/enzimas sale del dispositivo de mezclado y fluye sobre trombolinas para remover los sólidos gruesos.

La otra parte del flujo junto con la solución de enzimas cae dentro de un tanque de separación laminar. En algunas aplicaciones comerciales comunes, los sólidos limpios se remueven por un transportador de tornillo sin fin y son acumulados en una pila para esperar un análisis o su disposición.

El líquido, que contiene la solución de enzimas y la capa de hidrocarburos que flotan, fluye a través de una línea hacia el tanque de recuperación de aceite/solución. El aceite separado se remueve por un dispositivo desnatador y se colecta para reusarlo o para su disposición.

Los sólidos ultra finos en la solución que no sean removidos por el transportador se bombean a la decantadora centrífuga para su deshidratación. Un agente floculante es agregado dentro de la centrífuga para efectuar la remoción de sólidos finos y la clarificación de la solución de enzimas. La solución que sale de la centrífuga es retornada al tanque para reusarla mientras que los sólidos deshidratados son enviados para su disposición, El ciclo se cierra para regresar la solución limpia al tanque de agitación y premezclado.



Varias aplicaciones comerciales de EZS se han realizado, incluyendo remediación de sedimentos ácidos de refinerías, baterías, y remediación de recortes de perforación. Los resultados de estos proyectos iniciales confirman la viabilidad del concepto.

El sistema EZS fue desarrollado para operaciones específicas. Tal como se muestra en la., El EZS viene con etapas adicionales para limpieza y separación de materiales demasiado grandes antes del triturador mecánico. Esto reduce la acumulación de sólidos en el triturador mecánico y de este modo se controla la acumulación de sólidos ultra finos generados en el sistema. El separador laminar ha sido eliminado y se adicionó un filtro para clarificar la solución de enzimas para reuso. En suma, el EZS puede procesar sólidos mayores a 2" de diámetro, comparado con 144" que es el limitante para el EZS 1.

Los recortes contaminados son transportados al sistema por un tornillo sin fin o por otro medio. Los sólidos entran al barril abierto para un lavado inicial y pasan a través de una malla-4 para la selección y rechazo de los sólidos de gran tamaño. Todo el material de tamaño menor a 114" recibe más lavado y es transportado por un conductor inclinado a una malla de separación fina. Los sólidos limpiados y separados por la malla 84-250, son descargados a un transportador horizontal y son colocados en un apilamiento para pruebas analíticas y disposición final.

Análisis económico

Por lo que refiere a la Cía. NAT, contactamos con ellos y nos comunicaron que sus esfuerzos los habían dirigido al tratamiento de desechos en general y que el proceso que ahora comercializan es difícil valorar económicamente, sin más datos (tipo de material, análisis químico, etc.) ya que en su análisis de costos consideran el valor de material que pudiera reciclarse. Además, de que mencionan que la naturaleza del equipo de procesamiento es complejo por lo que no sería redituable su renta o venta. Solamente nos mencionaron que el sistema tiene una infraestructura similar al de la técnica de solidificación, por lo que se presume que el costo será similar a éste, es decir por tonelada 163 dls/ton.



3.10 TECNICA 9 BIODEGRADACION

Análisis técnico

Biodegradación puede definirse como la destrucción de los elementos químicos por la acción biológica de organismos vivos.

La biodegradación es generalmente facilitada o favorecida cuando a los organismos se les permite adaptarse a un elemento químico en un determinado tiempo, y este periodo de ajuste se refiere a la aclimatación o adaptación con respecto a ese elemento químico en particular. Algunos químicos permiten la biodegradación bajo condiciones *relativamente desfavorables que no es necesaria la aclimatación o adaptación*. Estos químicos pueden usualmente ser adaptados para biodegradar rápidamente bajo cualquier condición ambiental. Las pruebas de biodegradación diseñadas para identificar este grupo de químicos son definidas como pruebas de biodegradabilidad real. Los químicos que muestran resultados negativos en estas pruebas, pueden aún biodegradarse bajo condiciones más favorables.

La biodegradación puede ocurrir en cualquiera de los dos casos siguientes.

- 1.- En presencia de oxígeno (O_2), denominada biodegradación aeróbica, o
- 2.- En ausencia de oxígeno, llamada anaeróbica

La biodegradación puede ser solamente parcial, de manera tal que el principio u origen químico sea significativamente alterado o degradado al punto donde éste ya no sea *detestable como tal (biodegradación primaria)*. En algunos casos, se tendrán productos de la biodegradación que son químicos relativamente complejos capaces de admitir más degradación. La biodegradación completa se refiere cuando existe el punto donde los químicos originales están decrepitados en los productos finales.

Ejemplos de estos ocurren comúnmente en productos finales como bióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O) y subproductos residuales en el caso de biodegradación aeróbica; y metano (CH_4), bióxido de carbono y subproductos residuales en el caso de biodegradación anaeróbica con organismos metanogénicos.



Equipamiento

Un arreglo típico para establecer un cultivo terrestre consistirá de un área de suelo (o arena) de alrededor de tres pies de espesor y delimitados por un estrato de arcilla (un pie de espesor), cubierto por una membrana plástica. Esta deberá tener un declive hacia un tanque de drene para recuperar el exceso de agua o lixiviados. Los recortes deberán ser esparcidos de manera uniforme, hasta conformar una capa de 3 a 6 pulg. (dependiendo del contenido de aceite) y cultivados dentro del suelo hasta 1 pie. Se requiere un sistema de rociado para humedecer la mezcla, así mismo, se deberán adicionar fertilizantes en el agua conforme sea necesario.

Se requiere un monitoreo continuo para detectar los factores críticos, ya que si el suelo se seca, los microbios se secan y el proceso de descomposición se verá afectado y deberá ser suspendido. El suelo necesitara ser revisado constantemente. Será necesario una fuente regular de agua dulce, siendo necesario en ocasiones perforar un pozo para obtenerla. Si la salinidad del agua es demasiado alta (mayor que el agua de mar), la población bacteriológico se secará. El agua de mar puede ser usada en cultivos terrestres, pero será necesario bombear grandes volúmenes para minimizar la salinidad por evaporación.

Después de seis meses, el aceite contenido en el recorte empleado deberá ser menor del 1 %, entonces se podrá tratar una nueva cantidad de recortes mediante su cultivo en el suelo. Si se usa agua dulce para lavar el suelo y se aplican componentes de acetato de calcio para remover las sales deterioradas, la mezcla resultante será invariablemente un buen suelo que podría ser utilizado para el cultivo.

Para construir la instalación apropiada, es recomendable que el contratista realice un buen diseño, para tal fin se recomienda seguir los cuatro pasos siguientes:

- 1 - Evaluar el sitio y probar los suelos, lodos de aceite, agua, etc.
- 2 - Efectuar una prueba piloto del terreno para determinar la metodología de trabajo.
- 3.- Diseñar y acondicionar la instalación de manera adecuada.
- 4.- Establecer un sistema de monitoreo y proporcionar un plan de operaciones.



Análisis económico

La Cía. Amoco ha utilizado este método para tratamiento de recortes en sitios como Texas y Luisiana, cuyos costos típicos de tratamiento por carga están en los rangos de 10 a 50 USD/ton, para operaciones comerciales. Este costo no incluye los costos de la instalación de la planta, el transporte de los recortes a tierra y la planta de tratamiento. No hubo posibilidad de obtener el precio de la logística de transporte de los recortes a tierra, solo se consiguió el precio de venta de las barcazas empleadas para este fin.

Para implementar esta tecnología se requiere construir una instalación apropiada, por lo que es recomendable que el contratista realice un buen diseño, para tal fin es conveniente seguir los cuatro pasos primordiales ya descritos.

Las ventajas y desventajas de esta técnica son las siguientes:

Ventajas	Desventajas
1.- El aceite desaparece naturalmente	1.- Más mantenimiento, y recursos humanos que otros métodos
2.- Un excelente suelo puede ser formado, el cual puede ser vendido o dispuesto sin problemas como relleno	2.- Necesidad de fuentes de agua
3.- Aceptable ambientalmente	3.- Si el sistema es seco, la descomposición de aceite puede impedir que un nuevo cultivo sea establecido
	4.- Tratamiento con el agua necesaria con alta evaporación y salinidad

3.11 TECNICA 10 INYECCION EN UN POZO CENTRALIZADO COSTA AFUERA

Análisis técnico

La disminución y el apropiado manejo de los desechos derivados de los pozos de perforación, es importante para los futuros desarrollos petroleros, para tal fin se propone el proceso de inyección de recortes a un pozo profundo centralizado en el área marina, el cual representa algunas ventajas con respecto a otros métodos.



Una alternativa, es la búsqueda, selección y adaptación de un pozo marino abandonado, con características adecuadas para la inyección.

Este pozo podría recibir todo el recorte generado durante las operaciones de la zona, por lo que un solo equipo sería necesario.

Como es un solo equipo y se estima que hasta cinco pozos lo utilicen, el costo se divide entre ellos, además de los gastos de transporte marino.

I.- Metodología de operación

Es importante establecer las características de los desechos que serán generados, los cuales por alguna razón u otra son inadecuados para ser descargados al medio ambiente, éstos deberán ser categorizados en aquellos que son aptos para la inyección y los que requerirán de otras alternativas y métodos de disposición.

El proceso de inyección de recortes en un pozo profundo, consiste en la transformación del recorte sólido, a un estado factible para ser impulsado mediante bombeo, esto es, diluirlo para formar un líquido o lechada, la cual será inyectada en la formación seleccionada.

El recorte es recibido en la presa de disolución, la cual está equipada con un agitador que realiza la primera etapa de dispersión del recorte, agregándole agua y agitándolo. La mezcla del tanque de disolución es succionada por una bomba centrífuga de diafragma, la cual internamente esta acondicionada con alabes de carburo de tungsteno para triturar y moler el recorte formando la lechada, la descarga de ésta se conecta al tanque o presa de tratamiento y succión.



En la descarga de la bomba de diafragma se encuentra una temblorina o malla vibradora que separa los recortes que no han sido molidos hasta un tamaño conveniente, vertiéndolos al tanque de disolución para su recirculación.

En la presa de tratamiento se instala un agitador que mantenga en movimiento la lechada, aquí se le agrega bentonita para darle consistencia y propiedades viscosas.

Una bomba triplex succiona la lechada del tanque de tratamiento y la introduce a través del cabezal de la TR superficial al fondo del pozo.

La presión de inyección dependerá de la presión de fractura de la formación receptora. Los gastos o caudales de inyección deberán ser bajos y por etapas, para no generar una fractura franca irreversible en la roca, que posteriormente podría causar problemas.

Todos los desechos generados factibles de inyectarse durante el proceso de perforación, pueden ser canalizados al sistema de inyección para proceder a su eliminación, reduciendo (o nulificando) los desperdicios contaminantes mediante este proceso.

Condiciones requeridas

Es importante determinar el tipo y volumen de desechos generados, que son factibles de inyectarse en el pozo, con el propósito de determinar el tipo de formación que pueda aceptar estos desechos, así como para evaluar si este pozo no interfiere con los pozos de producción, o acuíferos.

Las consideraciones necesarias para llevar a cabo el método de inyección a un pozo profundo son:

- a) Selección del pozo.- Ubicar el pozo de inyección que tenga las características apropiadas para admitir los fluidos y que este cementado hasta la superficie para



evitar la contaminación de los acuíferos. Existen tres alternativas para la selección de éstos:

- Pozos perforados para este fin.
- Selección de yacimientos agotados.
- Pozos improductivos.

Para definir que tipo de opción es la más adecuada, deberá realizarse un estudio técnico-económico con la información obtenida de los pozos perforados en el área de ubicación y de esta manera seleccionar el que mejores ventajas ofrezca.

Pre-tratamiento del recorte.- El tamaño de las partículas deberá ser lo más pequeño posible, con la finalidad de evitar el taponamiento de la zona de inyección, por lo que deberá aplicarse una proceso de dispersión eficiente.

Instalación del pozo profundo.- La profundidad del pozo dependerá de la zona adecuada para esta operación. La velocidad de inyección dependerá de la capacidad de la zona para aceptar los desechos y del equipo disponible para su bombeo. La presión dependerá de los gradientes de fractura de la formación.

Sitio de inyección.

Los criterios para determinar la factibilidad de un sitio para un pozo profundo de inyección incluyen: 1). Uniformidad, 2). Extensión grande, 3). Espesor sustancial, 4). Alta porosidad y permeabilidad, 5). Baja presión, 6). Separación de los horizontes de agua potable, 7). Permeabilidad de los estratos inferiores y superiores adecuada 8). Ausencia de pozos no taponados en las cercanías y 9). Compatibilidad, entre los estratos minerales, los fluidos del depósito y los desperdicios inyectados.

Localidad: Área marina del Golfo de Campeche.



Se requiere investigar y seleccionar un pozo ya perforado que permita la inyección de las lechadas, éste podría ser alguno que haya tenido problemas de pérdidas de circulación y admita grandes cantidades de fluidos o en su caso definir, de acuerdo con la información, el que cumpla con las características para aplicar esta tecnología.

Diseño del pozo y cementación

La información necesaria para la selección del pozo para la aplicación del método de inyección de los recortes costa-afuera, deberá contener lo siguiente:

- Litología
- Presiones de poro
- Gradientes de fractura
- Cementaciones primarias
- .Asentamiento de las tuberías
- Tuberías/Diseño
 - Limitaciones de colapso y de ruptura
 - - Factores de diseño para desgaste
 - Efectos de carga cíclica si la inyección es intermitente
 - - Efectos de temperatura
 - - Diseño de cabezales
 - Cargas de los cabezales
 - - Selección de conexiones
- Corrosión por efecto de las lechadas
- Desgaste
 - Modificaciones de los cabezales
 - - Tuberías para la lechada
- Aislamiento de las válvulas de la erosión
- Casing/ espesor de las paredes de la tubería.



-Consideraciones de agujero abierto

- Efecto de la inyección en secciones de agujero no cementado
- Selección de la profundidad de asentamiento del casing para inyección
- Erosión de la zapata del casing

La eficiente cementación de la TR evitará posibles canalizaciones del fluido (lechada de recortes) a través de las paredes del pozo.

3.12 TECNICA 11 INYECCION EN UN POZO TERRESTRE

Como una alternativa para la protección del medio ambiente marino, se propone la disposición en pozos profundos terrestres de los recortes aceitosos generados durante las operaciones de perforación costa afuera. Este método de inyección de desechos, es una práctica común que utilizan varias compañías durante sus operaciones, como una medida para cumplir con la legislación ambiental.

Los pozos que serian utilizados para este fin, pueden ser, yacimientos agotados o pozos improductivos con las características siguientes: a) Tener una profundidad considerable, b) Ubicarse en zonas donde se encuentran formaciones rocosas permeables, y c) Localizarse en zonas donde existan cavernas subterráneas. Para llevar a cabo este método es conveniente realizar estudios encaminados a definir el confinamiento final de los residuos ya que la zona elegida para ésto, no deberá tener comunicación con los estratos superiores o inferiores.

El pozo seleccionado para la disposición deberá haberse terminado en una formación capaz de aceptar grandes cantidades de desecho y deberá estar localizado cerca de la planta de lodos por conveniencia. Para este proceso será necesario disponer de un equipo para mezclar el recorte, ya sea en plataforma o en las instalaciones del pozo de disposición. El costo para la inyección de recortes en la costa, puede ser de aproximadamente \$59 USA/ton. Las ventajas que ofrece esta alternativa están representadas por su facilidad para la inyección y el almacenamiento, la conveniencia de



manejar los recortes en tierra, así como el bajo costo por la compra de una simple unidad de mezcla (para preparar las lechadas.). Sin embargo, los desechos tendrán que ser transportados hasta el sitio seleccionado para la disposición final.

La inyección de desechos aceitosos de perforación dentro de una formación subsuperficial es atractiva, debido a que su tratamiento resulta en: a) Eliminación, b) Seguridad del medio ambiente o efectos a la salud, c) Bajos riesgos en la localización y d) Disposición con alternativas de costo potencialmente bajo. La aplicación del método de disposición de recortes al fondo del pozo previamente seleccionado, requiere del análisis y evaluación Geológicos, en conjunción con las prácticas de perforación ordinarias.

Análisis técnico

La disminución y el apropiado manejo de los desechos derivados de los pozos de perforación del área marina, son importantes para los futuros desarrollos petroleros, con este fin se propone el proceso de inyección de recortes en pozos profundos terrestres, el cual posee algunas ventajas con respecto a otros métodos.

Una alternativa de disposición, es la búsqueda, selección y adaptación de un pozo terrestre abandonado, con características adecuadas para la inyección.

Este pozo podría recibir todo el recorte generado en la zona, por lo que un solo equipo sería necesario y a diferencia de un pozo marino no se requiere de altos costos de mantenimiento y personal. Se puede establecer un horario diurno, por lo que solo se necesita transporte de la gente en una jornada de trabajo.

Metodología de operación

El proceso de inyección de recortes en un pozo profundo, consiste primeramente en la transformación del recorte sólido a un estado factible de ser transportado mediante



bombeo, esto es, diluirlo para formar un líquido o lechada, la cual será inyectada en el interior de la formación seleccionada.

El recorte es recibido en la presa de disolución, la cual esta equipada con un agitador que realiza la primera etapa de dispersión del recorte, agregándole agua y agitándolo.

La mezcla del tanque de disolución es succionada por una bomba centrífuga de diafragma la cual internamente esta acondicionada con alabes de carburo de tungsteno para triturar y moler el recorte formando la lechada, la descarga de ésta se conecta al tanque o presa de tratamiento y succión.

En la descarga de la bomba de diafragma se encuentra una temblorina o malla vibradora, que separa los recortes que no han sido molidos hasta un tamaño conveniente vertiéndolos al tanque de disolución para su recirculación.

En la presa de tratamiento se instala un agitador que mantenga en movimiento la lechada, aquí se le agrega bentonita para darle consistencia y propiedades tixotrópicas y viscosas.

Una bomba triplex succiona la lechada del tanque de tratamiento y la introduce a través del cabezal de la TR superficial al fondo del pozo.

La presión de inyección dependerá de la presión de fractura de la formación receptora. Los gastos o caudales de inyección deberán ser bajos y por etapas para no generar una fractura franca irreversible en la roca, que posteriormente podría causar problemas.

Todos los desechos generados factibles de ser inyectados durante el proceso de perforación, pueden ser canalizados al sistema de inyección para proceder a su eliminación, reduciendo (o nulificando) los desperdicios contaminantes mediante este proceso.



Transporte de recortes:

Por Mar.

Los recortes destinados para su disposición final fuera del sitio donde son generados, necesariamente serán transportados por barco. Los recortes pueden enviarse de dos formas: a) Como lechada bombeable o, b) Como recortes sólidos (difíciles de bombear). La transformación a la lechada puede ser efectuada sobre las plataformas de perforación lo que usualmente resulta en un incremento de volumen de tres o cuatro veces, pero con ello se obtiene una viscosidad que facilita su bombeo. Los recortes no tratados, tomados directamente del control de sólidos, son usualmente transportados dentro de cajas de recortes. Esto resulta en una operación intensa de mano de obra, requiriendo grúas destinadas al almacenamiento, carga y descarga de las cajas. Habrá días en que la producción de desperdicios sea demasiada o el viento demasiado fuerte para trasladar las cajas de recortes al barco; sin embargo, en una plataforma se debe considerar el almacenamiento de las cajas de recortes tanto vacías como llenas.

La transportación por barco deberá tener la capacidad de manejar tanto las cajas de recortes como la lechada. Por seguridad, las cajas llenas con recortes no podrán ser apiladas. Estas deberán ser cubiertas con tapas metálicas, para evitar que su contenido sea arrojado al mar.

Los tanques de almacenamiento de lechada, representan el mejor medio de transporte para grandes cantidades de recortes aceitosos y deberán contar con dispositivos de agitación. Si los recortes son descargados en el embarcadero, será necesaria una bomba para la lechada y una grúa para las cajas de recortes.

En resumen, el transporte por mar tanto de recortes sólidos como de los transformados en lechada, puede ser acondicionado en barcos suplientes equipados. La logística, además del llenado y vaciado en mareas altas, será uno de los mayores problemas.



Es importante aclarar que Pemex tiene implementado un medio de transporte de recortes, consistente en la utilización de cajas recolectoras por lo que este problema ya está solucionado

Por Tierra

Los recortes que llegan a tierra requerirán un manejo distinto para alcanzar el sitio final de disposición. Si los recortes llegan en un tanque de almacenamiento, como lechada, estos podrán ser bombeados directamente al sitio de disposición. Si los recortes son transportados como tales, las cajas que llegan a la costa usualmente contendrán de una a siete toneladas de recortes, dependiendo de las dimensiones de las mismas, por lo que necesariamente deben descargarse con una grúa, la cual será necesaria en el sitio de depósito temporal. Se debe tomar precauciones para el transporte de las cajas mencionadas en camiones a través de carreteras en mal estado. Si en el traslado de las mismas se usa un camión especial, los recortes pueden ser transportados sin problemas y depositados directamente al sitio seleccionado.

La mejor alternativa para el transporte de recortes a tierra es mediante cajas recolectoras ya que de esta manera solo se rentará un equipo de tratamiento, de otra forma se requerirá un equipo para cada plataforma.

Abandono

Con la terminación del programa de inyección, el pozo o espacio anular tiene que ser restablecido. La presión atrapada, resultante de la inyección, deberá ser purgada. Sin embargo, el ritmo al cual ésta ocurre deberá estar en función de la porosidad y permeabilidad de la formación y del fluido de inyección mismo. Esto conduce a que el abandono dependerá de que la presión se abata para completar la fase.

Para tal fin, es conveniente considerar los siguientes parámetros:

-.Presión de purga.



- Tapón de cemento.
- Tapón mecánico.
- Prueba de integridad.

El diagrama de suspensión o abandono deberá ser preparado como un elemento integral del reporte de inyección y deberá estar incluido en los archivos del pozo para futuras referencias.

Análisis de costos inversión inicial

Para realizar esta operación, será necesario acondicionar el pozo y adaptar el equipo de inyección

Esto representa un costo de aproximadamente 60,000 dis de Inversión inicial.

Costos de operación

Para el desarrollo de esta opción se hicieron las siguientes consideraciones:

- Se tomo como base la cotización efectuada por la Cía. Apollo Service ya que es la más económica.
- La renta del equipo es diaria dado que la operación es continua.
- La lechada se preparará en el sitio de inyección.
- El transporte del recorte se efectuará en cajas recolectoras hasta el sitio de disposición.
- El costo de operación incluye el costo total del transporte marítimo y terrestre.
- El personal de PEP operará el equipo y sólo se requerirá la asistencia técnica de un especialista
- La renta del equipo se realizaría por un período mínimo de seis meses.



3.13 TECNICA 12 CONFINAMIENTO EN DOMOS SALINOS

El reciclado permite reutilizar, directamente o por extracción, los materiales recuperables.

En el caso de una extracción, los procedimientos dejan residuos llamados desechos últimos los cuales deben ser eliminados.

La destrucción consiste en romper las moléculas que presentan un peligro para el hombre y para el ambiente. Puede tratarse de una incineración o de un tratamiento físico- químico, Tanto el uno como el otro producen un volumen relativamente reducido de desechos últimos por eliminar.

La depuración se refiere a los efluentes gaseosos y acuosos de las unidades industriales y de las instalaciones de destrucción antes mencionadas. Su objetivo es liberar del aire y del agua los contaminantes que contienen, antes de que entren en contacto con el medio ambiente. Estos productos tóxicos también constituyen desechos últimos por eliminar.

La eliminación tiene por objetivo preservar el aire y el agua de los productos peligrosos para el hombre y su medio ambiente. Evidentemente su volumen debe ser lo más reducido posible y por lo tanto debe examinarse sólo la posibilidad de eliminar los desechos últimos. El método de eliminación mayormente considerado en los diferentes países, es el confinamiento geológico en "rocas herméticas", tales como la sal y la arcilla. Algunos países examinan la posibilidad de utilizar en ciertas circunstancias medios herméticos artificiales, tales como toldos plásticos, etc.

Una alternativa ambientalmente aceptables para la eliminación de los recortes de perforación contaminantes y que además ha sido utilizada por algunos países como Estados Unidos, Alemania, etc. es la disposición de desechos tóxicos en domos salinos.



Antecedentes

La Cía. Geostock luego de su participación en el almacenamiento de hidrocarburos en Tuzandépetl, Ver. y después de realizar estudios de factibilidad a nivel laboratorio, propuso la construcción de una planta piloto para tratamiento y disposición de los desechos contaminantes producidos por la industria petrolera del área mencionada.

Los Participantes

En un primer momento, GEOSTOCK entró en contacto con una sociedad especializada en el procesamiento de desechos, la Sociedad ESYS. Así, ambas crearon la sociedad GEOFIX encargada del establecimiento de un procedimiento de confinamiento de desechos últimos en una cavidad lixiviada en la sal y llena de saimuera.

Se estableció un programa de prueba y su realización práctica fue confiada a laboratorios de reconocida experiencia tanto en Francia como a nivel internacional:

- Centro de Mecánica de Rocas de la Escuela Nacional Superior de Minas de París.
- Instituto Pasteur de Lyon-. servicio de higiene aplicada al hombre y al medio ambiente.
- Instituto de Investigaciones hidrogeológicas de Nancy Laboratorio de investigaciones ELF-SOLAISE Lboratorio de investigaciones ELF-LACO

Estudios

El objetivo de los estudios iniciados por GEOFIX con la colaboración de los laboratorios antes citados. fué la elaboración de una mezcla compuesta de desechos suficientemente fluidos para ser bombeados y que en un momento dado se solidificarán en la cavidad.

la primera etapa

Se dedicó a la determinación de los principales elementos de esta mezcla que aseguren su fraguado.



El proceso de solidificación escogido fue una mezcla con cal, los componentes de esta mezcla son:

- cenizas con propiedades puzolánicas
- cal
- agua

Estos ensayos han permitido demostrar que:

-Las cenizas flotantes provenientes de centrales térmicas, altos hornos, incineradores de desechos domésticos o industriales responden a un criterio de solidificación. Además, muchas de ellas están contaminadas por metales pesados y no pueden utilizarse en ingeniería civil ni depositarse en descargas.

-La cal se puede encontrar en las mismas cenizas flotantes (procedimiento de depuración por vía seca o semi-húmeda mediante cal para desulfurar y retener los ácidos y metales pesados de los humos). En otros casos, es necesario añadir cal pura como la utilizada en lodos de depuración de aguas industriales o en residuos industriales tales como los de la fabricación de acetileno.

-El Agua puede ser pura, pero es más conveniente, económicamente, utilizar aguas contaminadas siempre y cuando sus componentes no inhiban el fraguado (como por ejemplo, sales de mercurio o de estaño).

la segunda etapa

Consistió en demostrar que era factible añadir a esta mezcla base, otros desechos cuyo comportamiento podría compararse al de los agregados.

Por supuesto, estos productos no deben inhibir el fraguado.

Los ensayos demostraron que es factible incorporar a esta mezcla base, productos sólidos minerales tales como:



- Catalizadores usados
- Escorias de la fabricación del acero
- Escombros de demolición de fábricas químicas
- Tierras contaminadas
- Compuestos orgánicos, sólidos pesados y no incinerables como asfaltos con elevado contenido de cloro

Los ensayos demostraron también que las moléculas orgánicas líquidas o solubles en el agua inhibían el fraguado y por lo tanto, no eran aceptables para el procedimiento y que debían ser destruidas por incineración o cualquier otro medio.

La tercera etapa

Ha permitido el establecimiento de un medio para no contaminar la salmuera, es decir, interponer entre ella y la mezcla de desechos un líquido que impida cualquier migración entre ellas. Por lo tanto, este producto debe cumplir las siguientes condiciones:

- Tener una densidad superior a la de la salmuera ($1.2/m^3$)
- Tener una densidad inferior a la de la mezcla de desechos ($1.6/m^3$)
- No ser soluble en la salmuera
- No disolver los componentes de la mezcla solidificable
- No disolver la sal

El estudio de los diversos líquidos disponibles muestra que sólo los orgáno-halogenados cumplen satisfactoriamente con las condiciones requeridas.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que los componentes orgáno-halogenados presentes en el agua saturada de iones con cloruro, son la base de una hidrólisis parcial que libera ácido clorhídrico neutralizado por la salmuera y el alcohol correspondiente.



Este último es soluble en la salmuera y produce una contaminación orgánica muy fácil de eliminar por oxidación.

la cuarta etapa

Permitió optimizar la composición de la mezcla solidificable de tal manera que tenga una fluidez bombeable sin que presente riesgos de infiltración de agua. En efecto, esta última podría atravesar la pantalla de órgano-halogenados gracias a la diferencia de densidad y así contaminar la salmuera.

Estos estudios han demostrado que, teniendo en cuenta la calidad de las cenizas, la cantidad de agua por utilizar en la mezcla de base, está comprendida entre 29 y 32% del peso húmedo total.

La quinta etapa

Permitió estudiar las propiedades mecánicas de la mezcla después del fraguado y su evolución con el tiempo. Demostraron que el fraguado es lento (unos 10 días) y que la resistencia a la compresión alcanza su valor óptimo al cabo de unos 8 meses.

Análisis técnico

El procedimiento

Los estudios antes descritos han permitido la definición de un procedimiento que permite confinar los desechos últimos en una cavidad lixiviada en la sal y llena de salmuera.

También se considerara en este estudio, el confinamiento en una cavidad con una profundidad determinada o con ciertas características de sal, en las que se pueda sacar previamente la salmuera. En este caso, la pantalla de órgano-halogenados no es necesaria.

En algunos casos, también se ha considerado la posibilidad de no aislar la salmuera de la mezcla de desechos y depurarla a la salida mediante el tratamiento de precipitación de carbonatos.



El procedimiento consiste en realizar una pasta suficientemente fluida para bombearla y que fragüe.

Desde el punto de vista práctico, los productos se almacenarán en el sitio según su naturaleza (polvos, sólidos o pastosos, líquidos). Para cada categoría, se determinará una capacidad para evitar las mezclas peligrosas (ácidos/base, oxidante/reductor, etc.).

La neutralización se realizará en el momento de la mezcla, antes de su inyección en la cavidad.

Creación de las cavidades:

La tecnología utilizada para la creación de las cavidades es la misma a la usada para almacenar los hidrocarburos: La forma adecuada de la cavidad es la de forma de gota, con diámetros que oscilan entre 15 y 40 m, la altura va de 150 a 600 m aproximadamente.

Las operaciones inician con la selección del sitio en que se perforará el pozo para la creación de la cavidad, con los correspondientes estudios geológicos, geofísicos, geoquímicos e hidrodinámicos. El pozo perforado debe mantener la vertical, es decir, no debe desviarse ya que esto afectará la geometría de la cavidad.

El programa de asentamiento y diámetros de tuberías de revestimiento a seleccionar, puede variar según la localización y la estructura geológica encontrada, sin embargo, el uso de estas tuberías es indispensable para prevenir la contaminación de las formaciones vecinas, así también se recomienda utilizar tuberías resistentes al colapso y al ataque corrosivo. Emplear también cementos adecuados para lograr la mejor adherencia posible y evitar cualquier canalización a través de éstos.

Las tuberías de revestimiento necesarias son:

- Conductora
- Superficial



- Intermedia(s) (las que fueran necesarias).

Es recomendable la cementación de dos Tuberías de Revestimiento (T.R.) para evitar una posible comunicación, la última T.R. se cementara en lo que se llama el techo de la cavidad.

Una vez que se tiene el pozo (Figura No. 3.29) a la profundidad programada y se han colocado las tuberías de revestimiento necesarias, es conveniente verificar la hermeticidad de las mismas mediante pruebas de presión; al concluir estas pruebas se inicia el proceso de formación de la cavidad mediante la disolución de la sal (lixiviación), que consiste en la inyección de agua a través de tuberías colgadas concéntricas, mediante técnicas básicas para el control de la forma de la cavidad, ésto es circulación directa e inversa (Figura No. 3.30), protegiendo las zonas que no se deseen lixiviar con un fluido inerte (diesel o crudo).

La configuración de la cavidad se va determinando mediante la toma de registros sonares.

Se deben realizar cuando menos tres registros durante la creación del almacenamiento ya que ésto permitirá corregir algunas anomalías detectadas.

Es importante mencionar que la forma de la cavidad se encuentra influenciada por variables que no pueden ser controladas, tales como:

- Heterogeneidad de la sal.
- Porcentaje y distribución de los insolubles.
- Solubilidad de la sal.

Sin embargo, al utilizar de manera alterna la circulación directa e inversa y los intervalos entre las tuberías colgadas es posible ajustar la cavidad a la forma deseada.

Una vez formada la cavidad (Figura No. 3.31) se procede a realizar las pruebas de presión correspondientes encaminadas a verificar la hermeticidad de la misma, mediante el represionamiento a una presión previamente establecida, la cual depende del



gradiente de formación, la profundidad de la última tubería cementada y de la densidad del fluido con que se efectúe la prueba.

La estabilidad de la cavidad es un factor importante una vez que se pone en explotación, especialmente al referirnos al depósito de desechos sólidos y peligrosos, ya que esta deberá quedar totalmente vacía para posteriormente depositar los residuos. Las empresas líderes en la creación de cavidades aceptan lo difícil que es predecir el cierre (o estabilidad) de la cavidad por fenómenos de fluencia.

Operación de la cavidad.

Una vez concluida la cavidad, ésta debe acondicionarse para la depositación de los residuos, lo cual se puede realizar mediante de la aplicación de dos técnicas generales:

1. Desplazar la salmuera de la cavidad para posteriormente depositar los residuos.
2. Inyectar los residuos con desplazamiento de salmuera a la superficie.

La técnica uno consiste en vaciar la cavidad mediante bombeo o inyectar gas a presión para desplazar la salmuera contenida. Una vez vacía la cavidad se inicia la depositación (Figura No. 3.27) de los residuos mediante bombeo o en forma gravitacional. Este procedimiento es adecuado para la depositación de desechos contaminantes solidificados y líquidos previamente estabilizados.

El proceso se efectúa en etapas, mediante el movimiento de la tubería de llenado, la cual se va levantando cíclicamente cada vez que el intervalo inferior se ha llenado, y así hasta llenar completamente la cavidad.

La técnica dos, plantea el procedimiento de confinamiento de desechos en la cavidad llena de salmuera mediante las siguientes etapas: (Figura No. 3.28)

1. Introducir al fondo de la cavidad cierta cantidad de líquido denominado tapón, con una densidad superior a la de la salmuera.

Figura 3.27

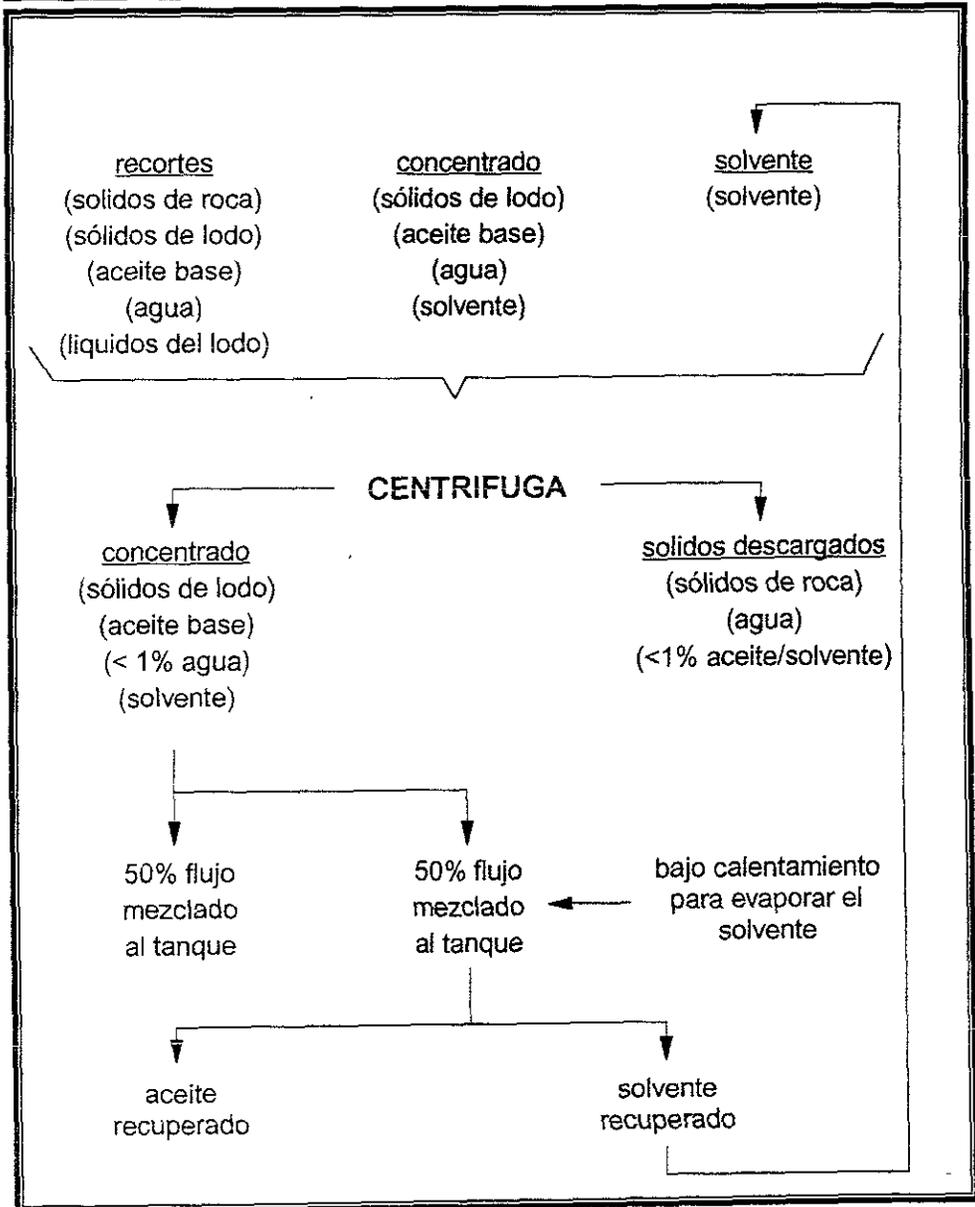


Figura 3.28

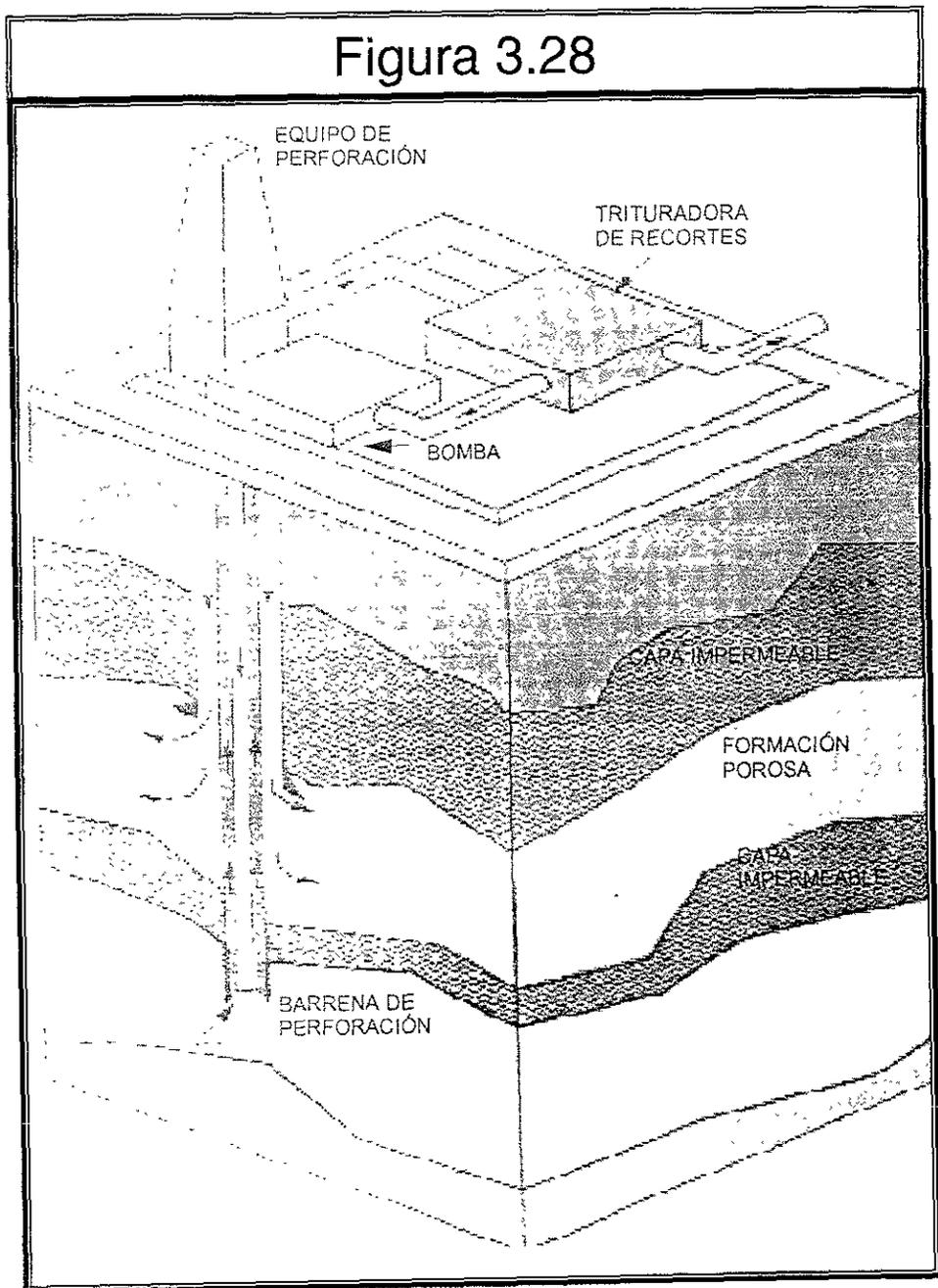


Figura 3.29

EL ÁREA ENTRE LAS CUBIERTAS INTERNA Y EXTERNA EN OCASIONES SE EMPACA CON INHIBIDORES DE CORROSIÓN Y DE CRECIMIENTO BIOLÓGICO.

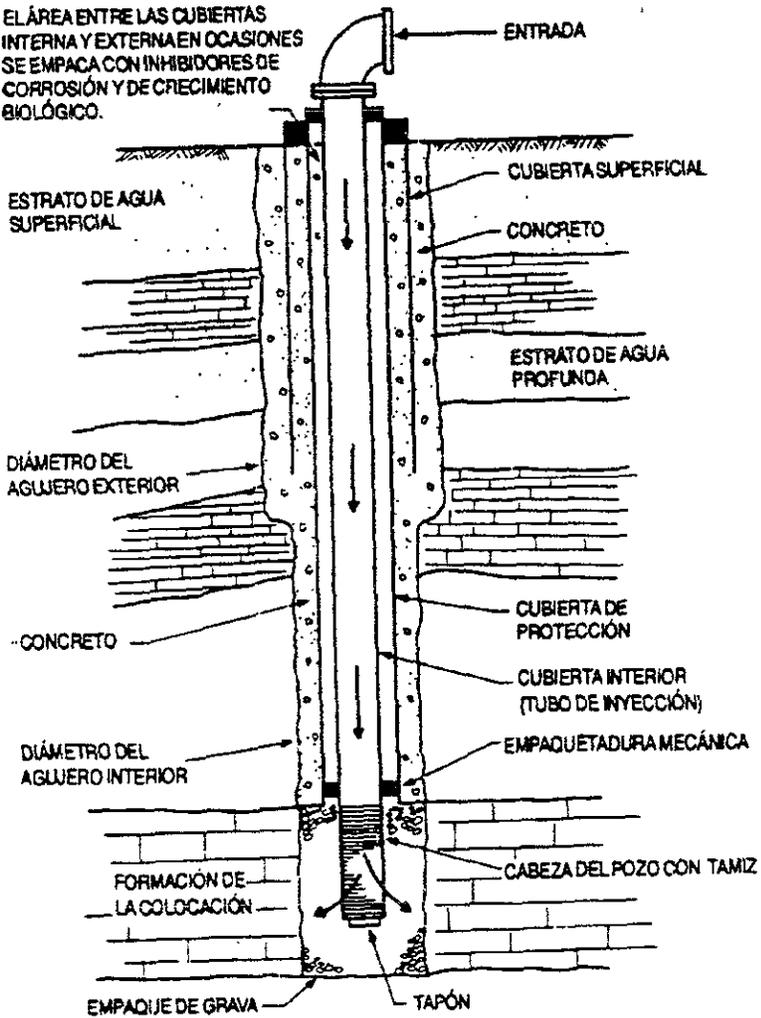


Figura 3.30

**Depósito subterráneo
de residuos sólidos
tóxicos y peligrosos en
cavernas de sal.**

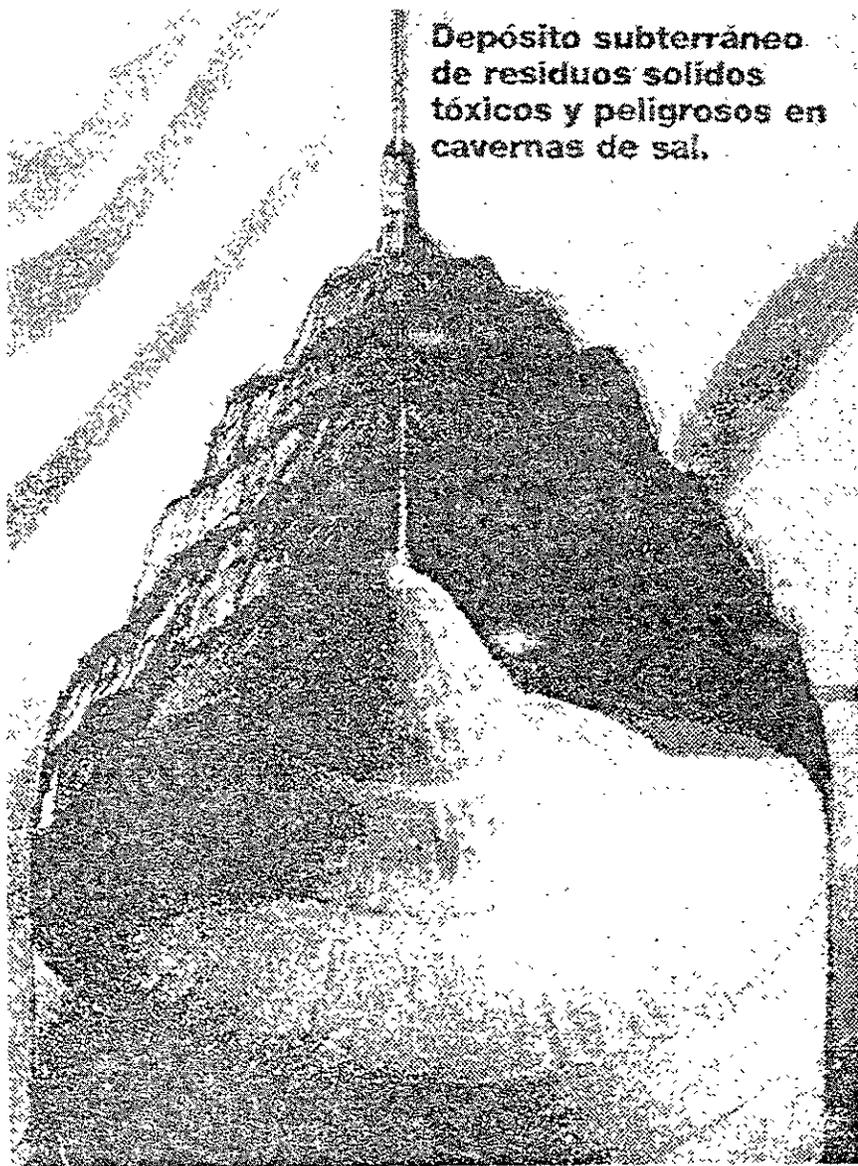
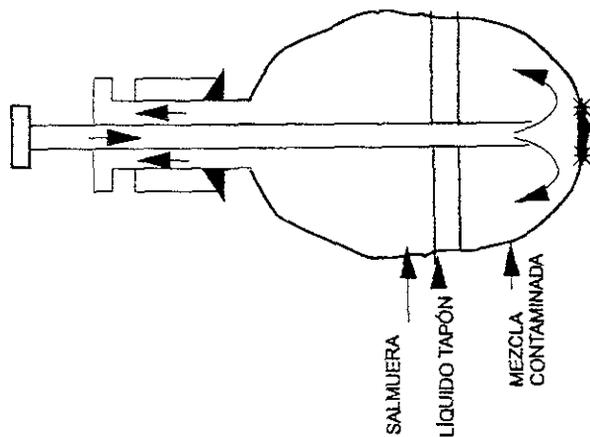
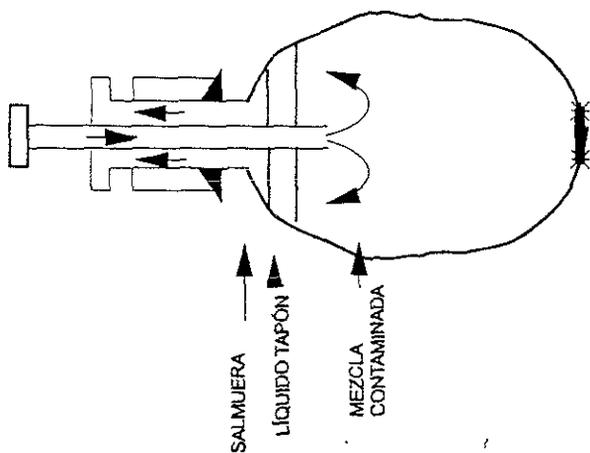


Figura 3.31





2. Mezclar los desechos con un aglutinante Hidráulico (cemento), preferentemente de fraguado lento.

3. Inyectar la mezcla a la cavidad, por debajo del bache del líquido tapón.

En el caso de recortes de perforación, podrían depositarse sin efectuarles tratamiento alguno, ya que no existe peligro de tener reacciones secundarias por incompatibilidad o si se desea, podrían estabilizarse mediante un tratamiento con tierra y cenizas volcánicas

Análisis económico

Estimación del presupuesto (en millones de dólares)

Etapa 1:

- Encuesta	0.1
- Ensayos de laboratorio	0.3
- Concepción de la unidad piloto	0.4
- Autorización administrativa	0.1

Subtotal 0.9

Etapa 2: - lixiviación (10 000 M³) 0.5

- instalaciones superficiales	0.5
- perforación complementaria	0.3

Subtotal 1.3

Etapa 3: inyección (los desechos y su transporte supuestamente gratuito)

- inyección	1.0
- ensayos de laboratorio	0.4

Subtotal 1.4



Etapa 4: -

- control después del llenado	
- perforación por muestreo + ensayos	0.3
- concepción de la unidad industrial	0.8
Subtotal	1.1
SUMA Sub-totales	4.7
Imprevistos 25%	1.2
TOTAL	5.9

Para este costo se considera el volumen total de recortes a almacenar, el cual sería de $10,000\text{m}^3$, lo que equivale a un peso aproximado de 23,500 ton y una inversión total de 6.0 MM de dls.

3.14 TECNICA 13 FLUIDOS ECOLOGICOS

INTRODUCCIÓN: Los fluidos de perforación de emulsión inversa a base de aceites sintéticos, se han desarrollado como una alternativa para sustituir a los fluidos base diesel, dadas las ventajas que este tipo de fluidos representan en cuanto a la eficiencia de la perforación. Otro de los beneficios que ofrece la utilización de estos nuevos desarrollos, se refiere al mínimo impacto ambiental que causa la eliminación de los recortes producidos al medio ambiente, por lo que su desecho es permitido en el sitio de operación.

Una de las principales razones para la utilización de los lodos a base de aceite sintético o vegetal (Ecológico), es principalmente por la protección al medio ambiente, ya que estos son biodegradables y su descarga en los sitios esta permitida por la reglamentación, además de la alta eficiencia en las operaciones de perforación, comparada con el uso de fluidos base agua (30-40 % de ahorro de tiempo de perforación) y la eficiencia obtenida en la perforación de zonas de lutitas inestables



presentes en la sonda de Campeche, con lo cual se obtiene una configuración del pozo más estable.

Algunos de los sistemas de lodos ecológicos de emulsión inversa actualmente disponibles, han sido desarrollados a base de éste, ya que éste es un derivado de fuentes naturales, bajo en toxicidad, cumple con los requerimientos SFT para toxicidad de lodos, no presenta características de irritabilidad a la salud y es altamente biodegradable.

El precio de este lodo es mayor al de los fluidos de emulsión inversa: fluctúa entre los 1,300 DLS/TON, contra 300 DLS/TON de un lodo base diesel, lo que representa su principal desventaja, por lo que es necesario hacer un análisis económico para definir si su utilización es más ventajosa que la implementación de un sistema de tratamiento de desechos cuando se utiliza lodo a base de aceite no biodegradable.

Análisis técnico

Existen diferentes opciones para la preparación de lodos de perforación a base de aceite de baja toxicidad, algunos de los cuales serán analizados:

Arcillas organofílicas para fluidos de perforación de baja toxicidad.

Desde principios de los años 80's se ha visto la necesidad de reducir el impacto que causan las operaciones de perforación al medio ambiente. Esto ha sido reforzado por el establecimiento de una legislación más estricta, especialmente en lo que se refiere a operaciones de perforación costa afuera. Los fluidos base agua proporcionan, una alternativa para tener operaciones menos adversas al ambiente, sin embargo, ésta no puede ser utilizada en formaciones sensibles. El impacto de los fluidos de perforación base aceite ha sido reducido al disminuir su contenido de aromáticos, pero esto ha ocasionado problemas para los formuladores de fluidos de perforación, así como a los distribuidores de materiales.



Arcillas organofílicas Las arcillas organofílicas se obtienen a partir del intercambio de iones (usualmente sodio), en la superficie de una arcilla por un catión orgánico voluminoso. La organoarcilla producida puede dispersarse en un líquido orgánico para formar un gel si se aplica suficiente esfuerzo de corte y si el líquido orgánico posee un balance exacto en su carácter polar y no polar.

Incrementar la cantidad de material orgánico en la superficie de la arcilla mediante el incremento del peso molecular del compuesto cuaternario de amonio con el que se modifica, mejora notablemente el desempeño de la arcilla organofílica en el fluido.

Las modificaciones a los compuestos cuaternarios de amonio utilizados para obtener las arcillas organofílicas, junto con una juiciosa elección del aceite empleado como base, dan lugar a la obtención de fluido base aceite tan efectivos y eficientes como aquellos preparados con aceite diesel, sin los inconvenientes del alto contenido de aromáticos tan dañinos al medio ambiente.

Uso de parafinas para el desarrollo de fluidos de perforación lodo de base aceite mineral.

El uso de una parafina basada en aceite mineral, en lugar del uso de los aceites base diesel convencionales, es un nuevo concepto en la tecnología de fluidos de perforación de la industria petrolera.

Evaluaciones de toxicidad en el laboratorio han demostrado que éste es considerablemente menos tóxico, además, que los fluidos con el preparados poseen características de retención más bajas que las obtenidas para los fluidos base aceite diesel.

Los fluidos de perforación base aceite mineral poseen todas las características de los fluidos base aceite diesel convencionales, pero sin los problemas ambientales asociados, por lo que se pueden considerar como fluidos ecológicos.



Las emulsiones inversas de aceite mineral consisten de una fase aceitosa, compuesta por aceite base parafina especialmente refinada, emulsificantes, dispersantes, arcillas organofílicas, óxido o hidróxido de calcio, estabilizadores a la temperatura y agua. Los fluidos de perforación de aceite mineral son considerados como fluidos base aceite de baja viscosidad/bajos coloides.

No todos los aceites minerales en el mercado son aceptables como fase continua en la preparación de emulsiones inversas, la viscosidad, el punto de escurrimiento y el contenido de aromáticos son algunos de los factores que requieren ser considerados.

Es importante de la viscosidad y el punto de escurrimiento; ya que ambas propiedades definen el comportamiento y aceptación funcional de los fluidos obtenidos. El contenido de aromáticos es importante por dos razones: La primera debido a que la fracción de aromáticos presentes en el aceite mineral es la base por la cual éste es aceptado sobre el aceite diesel y segundo porque las formulaciones con aceite mineral emplean emulsificantes menos tóxicos (aceite mineral con nulo contenido de aromáticos proporciona fluidos de escasa estabilidad). La fase acuosa de los fluidos de emulsión inversa de aceite mineral juega un papel importante en la estabilización del agujero, pueden utilizarse salmueras de NaCl saturadas o CACI (300,000 a 350,000 ppm).

Adicional a todo lo anteriormente expuesto, los fluidos basados en aceite mineral, ofrecen las mismas ventajas que los de base aceite diesel pero sin sus repercusiones ambientales, además de que el aceite diesel causa irritación en la piel, daña empaques y partes de hule en el equipo y tiene un olor peculiar.

Los sistemas de emulsión inversa formulados con aceite mineral además de no requerir el equipo para el tratamiento de recortes, no afectan los componentes de hule del equipo, no irritan la piel, poseen olor agradable y son menos tóxicos a la vida marina. Sin embargo, tienen la desventaja de no poderse utilizar en zonas de pérdida de circulación, ya que el aceite mineral es considerablemente más caro que los fluidos base agua, por lo que su uso debe reservarse. Debe restringirse su utilización en zonas productoras donde el filtrado de aceite mineral pudiera dañar la formación, además de que estos fluidos pueden dañarse si se mezclan con salmueras ácidas de terminación por lo que



es importante seguir los procedimientos para el apropiado desplazamiento de los fluidos (uso de espaciadores) durante la terminación de un pozo.

En conclusión el fluido base aceite mineral, es probablemente el más importante desarrollo en la industria de los fluidos de perforación. Lo más difícil es que el medio ambiente lo acepte.

Fluido de perforación de emulsión inversa biodegradable a base de ésteres.

Como una alternativa menos agresiva al ambiente para la perforación de zonas de lutitas sensibles al agua, se utilizan fluidos de emulsión inversa base aceite diesel y/o fluidos de emulsión inversa de aceite mineral, y representa un fluido de emulsión inversa biodegradable que ha demostrado ser equivalente a los fluidos base aceite en estabilización de la formación, altas velocidades de penetración, lubricidad y protección a la corrosión.

Análisis económico

Para conocer el costo que representa el uso de un fluido ecológico, es necesario definir el volumen que será utilizado durante la etapa de perforación.

En la zona marina de Campeche, se requiere de la utilización de un fluido de emulsión inversa para perforar la formación del periodo terciario (lutitas hidratables e inestables en base agua), empleando barrena de 12 1/4", lo que representa la tercera etapa de perforación.

En la figura No. 3.29 se presenta un arreglo típico para la perforación de un pozo de la zona marina, en base al cual se realizaron los cálculos de volumen de lodo requerido para perforar la formación antes mencionada. Estos cálculos se presentan en la tabla siguiente:



LONGITUD	DIÁMETRO	VOLUMEN (m ³)
150	30	68
550	20	111
1800	13 3/8	163
1000	12 1/4	100*
	Subtotal	442
	Lodo en presas	80
	total	522

*Para el cálculo del volumen se estimó un factor de abocardamiento del pozo del 25%

De acuerdo a esta estimación se requerirá un volumen de lodos de aproximadamente 522 m³ para perforar hasta la etapa de 12 1/4". Las estadísticas han mostrado que al término de esta etapa se tendrá un volumen de lodo recuperable de aproximadamente el 50 %, el otro 50 % quedará impregnado con los recortes y otro tanto se perderá durante las operaciones propias de la perforación.

Para desarrollar este análisis es necesario determinar el costo del fluido ecológico, mismo que se presenta a continuación.

COMPANÍA	FLUIDO	DENSIDAD	COSTO	COSTO ING
Baroid	petrofree	1.45-1.60	3,704.95	963.50
		1.60-1.65	3,572.48	963.50
M-1	Novadri	1.45-1.60	2,189.146	800.00
		1.60-1.65	2,109.22	800.00

Considerando el costo de fluido que ofrece la compañía M-1 y tomando en cuenta que para perforar la etapa de 12 1/4" se requiere de una densidad mayor a 1.60 gr/cm³, se tiene lo siguiente:

Volumen de fluido requerido	522 m ³
Costo del fluido	1'101,013 DLS
Fluido recuperado	250 m ³
Costo del fluido recuperado	<u>527,305 DLS</u>
Costo total por etapa	573,708 DLS



Costo de un ingeniero 20,000 DLS
(25 días)

Si se utilizara lodo de emulsión inversa base diesel, cuyo costo fluctúa entre los 200 DLS/m³ se tendrán los siguientes costos:

Volumen de fluido requerido	522 m ³
Costo del fluido	104,400 DLS
Fluido recuperado	250 m ³
Costo del fluido recuperado	50,000 DLS
Costo total por etapa	<u>54,400 DLS</u>

TABLA 3.1 COMPARACION DE LAS TECNICAS VIABLES PARA EL TRATAMIENTO DE RECORTES ACEITOSOS

TEC.	DESCRIPCION	COSTOS OPERACIÓN DLS/TON	TIEMPO DE TRATAMIENTO	RECICLADO	CONCENTRACION FINAL DE HC
1	RETORTA TERMICA	140-406	DIAS	SI	MENOR A 1%
2	PROCESO TORBED	164-300	DIAS	SI	MENOR A 1%
3	ENCAPSULACION	300-350	DIAS	NO	BAJO
4	SOLIDIFICACION	160-280	DIAS	NO	MENOR A 2%
5	CONFINAMIENTO	150-250	DIAS	NO	ORIGINAL
6	TRAT. SOLVENTES	200-300	DIAS	SI	MENOR A 2%
7	TRAT. SURFACTANTES	100-300	DIAS	SI	4-5%
8	TRAT. ENZIMAS	150-200	DIAS	SI	MENOR A 1%
9	BIODEGRADACION	150-200	MESES	NO	MENOR A 2%
10	INYECT. OTRA PLAT.	150-200	DIAS	NO	ORIGINAL
11	INYECC. POZO TERR.	50-100	DIAS	NO	ORIGINAL
12	DOMOS SALINOS	250-300	DIAS	NO	ORIGINAL
13	FLUIDO ECOLOGICO	884		NO	

CAPITULO IV

GENERALIDADES ACERCA DE LOS DOMOS SALINOS

Solo hay una cosa en la vida amigo...
"Ser de adeveras"
Ing. Fernando Pérez Cuevas.

4.1 GENERALIDADES ACERCA DE LOS DOMOS SALINOS.

Los domos salinos son grandes estructuras subterráneas de sal sólida, cubiertas de una profundidad de 100 metros bajo la superficie de la tierra y que se extienden hasta 15,000 metros bajo la superficie. Sus radios van desde uno hasta varios kilómetros. Los domos salinos a lo largo de la costa del golfo tiene una formación tan reciente como de 60,000,000 de años, con algunos domos de cien millones de años de antigüedad. Éstas estructuras se encuentran entre las más estables de todos los sistemas geológicos.

Un domo salino se define también como un cuerpo vertical de sal de sección circular o

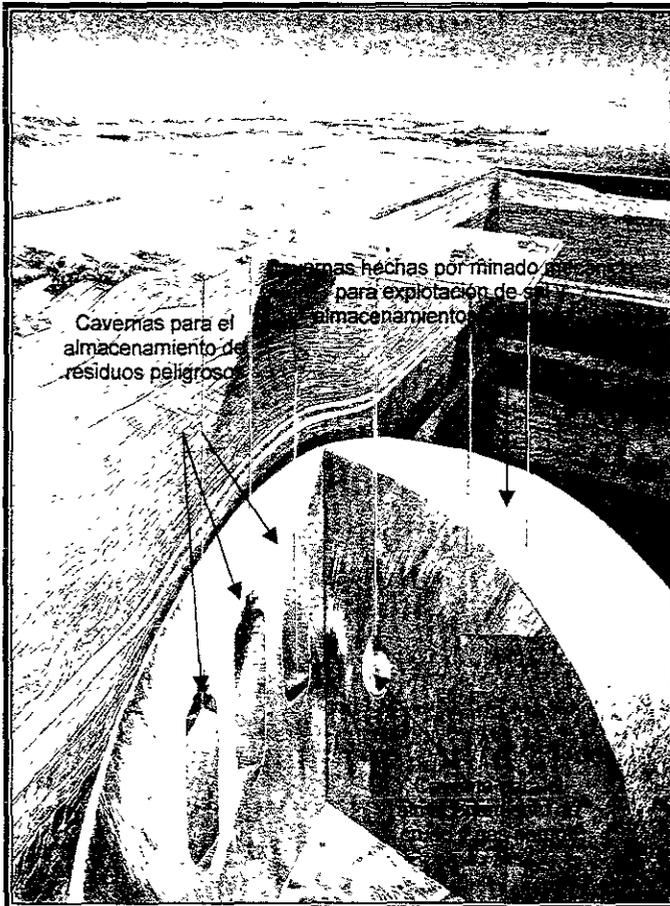


Figura 4.1 corte esquemático de un domo salino



mejor dicho, de forma volumétrica globular como se muestra en la figura 4.1. De acuerdo con la definición anterior son muy pocas las estructuras que dentro de los límites de la cuenca del istmo en el golfo de México reúnen estas condiciones, por lo que los geólogos han denominado el nombre de "estructuras salinas" para este tipo de sistemas. Pero para los requerimientos específicos de los objetivos de este trabajo serán denominadas las "estructuras salinas" como "domos salinos".

Para la formación de estos enormes cuerpos de sal se requirieron de extensas superficies de evaporación (llamadas comúnmente "vasos", por ser depresiones en el terreno donde se encuentran); estos "vasos" fueron llenados continua o intermitentemente por las aguas de los océanos, donde posteriormente al evaporarse una gran cantidad de agua, se

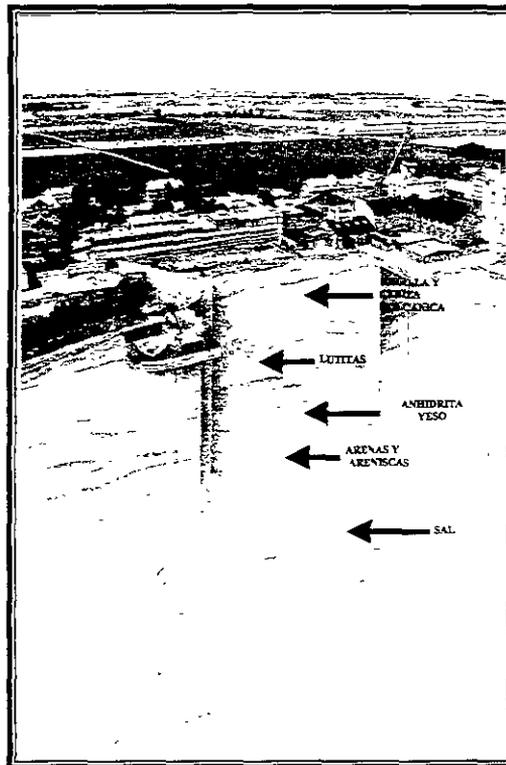


Figura 4.2 sección esquemática del flanco de un domo salino



precipitaron y depositaron las sales sobresaturadas que consisten en cloruros (siendo el cloruro de sodio -NaCl- la de mayor proporción que de cualquier otra sal), sulfatos y carbonatos, en orden inverso a la solubilidad y directos a su concentración (a cada periodo de ocurrencia de lo anterior, se le llama "transgresión").

Este hecho es aceptable y lógico en virtud de haber encontrado dentro del cuerpo de la sal intercalaciones de arenisca de grano fino y otros minerales (lutitas) con pequeños porcentajes de anhídrido y yeso. Las intercalaciones de lutitas en dicho cuerpo, figura 4.2, así como la presencia de arenisca confirman que el evento se realiza en los márgenes continentales.

La arenisca se depositó sobre la sal cuando ésta estaba completamente solidificada y virtualmente separada del mar abierto, o bien, se haya encontrado como impurezas y en suspensión cuando una de las transgresiones haya tenido lugar o el aporte se haya originado por vientos fuertes como huracanes y ciclones.

Cabe aclarar que aun aceptando estas series transgresivas de los mares o bien, la alimentación permanente de éstos, los espesores originales fueron mucho menores que los que en la actualidad se han logrado encontrar, lo cual explica el comportamiento reoplástico de la sal que es un capítulo que estuvo por muchos años en discusión por investigadores que han propuesto algunas teorías que tratan de explicarla. Gran parte de estas teorías se han ido descartando y en la actualidad sólo queda la "teoría del flujo plástico" como la más probable.

Esta teoría supone que las diferentes capas de sal originalmente horizontales, adquieren diversas formas estructurales (algunas cóncavas), al ser inyectadas hacia la superficie debido a la presión a que son sometidas por el peso del paquete de los sedimentos que la cubren dando lugar con ello, a un equilibrio isostático originado por la menor densidad de la sal comparada con la de las rocas superpuestas, este movimiento ascendente cesa cuando dicho equilibrio de la presión litostática es establecido o bien cuando haya migrado totalmente la sal de la base de la columna.

El equilibrio isostático se explica porque la densidad de la sal es más o menos constante a cualquier profundidad, no sucedió así con los sedimentos que la cubren, pues debido a



los tipos de roca de la columna estratigráfica, en la superficie tiene menor densidad que la sal, pero en profundidad existen rocas con gravedad específica igual o superior al de ésta, y cuando es así empieza el movimiento ascendente de la sal. Esta fluye por los lugares de mayor debilidad, plegando en primer término las rocas que la cubren para formar verdaderos anticlinales (formaciones irregulares) salinos o bien rompiéndolas para formar estructuras dómicas (ver figura anterior).

La casi total ausencia de verdaderos domos salinos en la cuenca, quizá se deba a que en los periodos subsecuentes a la solidificación de la sal no se hayan depositado sedimentos de fuerte constitución que por su peso hubieran ejercido mayor presión sobre la sal, provocando con ello las rupturas correspondientes para formar los domos salinos.

Existen otros factores que intervienen en el movimiento ascendente de la sal y que probablemente no fueron los ideales para la formación de verdaderos domos, como los siguientes:

- Resistencia o viscosidad de la sal
- Composición, carácter y espesor de la capa original.
- Resistencia a la fractura de las rocas que la cubren.
- Contenido de agua en las capas de sal y en las rocas adyacentes.

Las intrusiones salinas en el istmo han jugado un papel importante en la geología y tectónica original, como lo demuestran los resultados obtenidos por las compañías que han efectuado perforaciones en la zona, mediante los cuales han corroborado la presencia de fallas asociadas a los domos salinos, generalmente de tipo normal, producidas por el asentamiento y reacomodo de los bloques provocados por el movimiento ascendente de la sal, ocasionando además la distorsión de los planos de estratificación lo que dificulta la interpretación geológica del subsuelo.

Como información general cabe aclarar que la topografía del terreno no siempre concuerda con la geología estructural del subsuelo como sucede en los domos del estado de Lousiana E.U., donde los altos topográficos corresponden generalmente a estructuras



domicas. En la cuenca del istmo no sucede ésto, probablemente porque el empuje de la sal no fué suficiente para provocar estos altos topográficos o bien porque éstos se hayan erosionado.

Aunque está desechada la teoría dinámica en la formación de las estructuras dómicas, no hay que descartar la posibilidad de que en el istmo los esfuerzos dinámicos hayan tenido influencia, ya que al estar limitadas en la parte sur y nor-poniente por cuerpos de origen ígneo (antefosa de Chiapas y macizo de san Andrés) la probabilidad subsiste, pero ésto seguirá en duda por ser difícil su comprobación.

En cuanto a la cubierta de rocas sedimentarias que poseen todas las estructuras salinas, su origen ha motivado la polémica de muchos investigadores, dando como resultado la aparición de varias teorías que tratan de explicarla; la más acertada es la que supone que es formada por los residuos insolubles que deja la sal cuando es disuelta por las aguas meteóricas que se infiltran desde la superficie y fluyen sobre la cima de la sal posteriormente o durante el periodo de solidificación de ésta. A esta teoría muchos autores se oponen, ya que suponen que la cantidad de residuos insolubles que contiene la sal, es poco si se compara con los grandes espesores que se llegan a encontrar en algunas partes, sin embargo, ésto ha sido desmentido y se ha demostrado que es posible la formación de tales espesores. Existen otras evidencias que apoyan esta teoría como es la presencia de aguas salobres conteniendo minerales insolubles en el contacto de la sal y la cubierta ("cap-rock").

En general, la sal esta bien consolidada y sólo ocasionalmente es cavernosa, alojando a veces hidrocarburos (gas). La sal, cuando es pura tiene un color blanco, pero se encuentran de colores anaranjado, rosado, violeta y morado debido a diversas impurezas, siendo los hidrocarburos los causantes de un color gris oscuro o negro.

La palabra sal se deriva del latín *sal* y junto con el nombre de halita es derivado del griego *hals* que significa mar. Se le conoce con algunos nombres específicos como halita, sal de roca, sal gema, sal fósil, etc.



Composición:

Químicamente pura tiene las siguientes proporciones: Na 39.4% y Cl 60.6%; pero en la naturaleza nunca es encontrada así, aunque algunos análisis llegan al 99.9% en el contenido de NaCl, los análisis promedio de grandes cantidades de sal minada raramente pasan de 98%, presentándose como impurezas insolubles más comunes la anhidrita, dolomita, yeso, calcita, pirita, cuarzo y óxidos de hierro, e impurezas solubles en forma de iones de Ca, Mg, C, Cl, CO₃, y SO₄.

Inclusión

Las inclusiones líquidas en la sal son comunes, éstas representan comúnmente salmueras atrapadas durante el proceso de cristalización.

Dureza.

En la escala de Mohs es de 2.5.

Plasticidad.

Bajo las condiciones de presión sufre deformaciones plásticas, principalmente las debidas a presiones aplicadas lentamente que producen cambios de forma sin llegar a la ruptura.

Color.

Cuando es pura es incolora, pero generalmente se encuentra de colores blanco, amarillento, pardo, rojo, rosado, verde, violeta, púrpura, azul, anaranjado, gris y negro, dependiendo ésto de la naturaleza de las impurezas.

Permeabilidad.

Ésta es una de las propiedades más importantes de la sal y se analizara en capítulos posteriores. Cualitativamente se puede afirmar que la sal "pura" es casi impermeable, tanto para sistemas líquidos como gaseosos.

Formas de presentación.



En la naturaleza se presenta de las siguientes formas:

Sal en solución

- I. Agua de los océanos
- II. Agua de los lagos
- III. Agua subterránea.

Sal de rocas.

- I. Depósito de playa.
- II. Depósitos estratificados o tabulares.
- III. Estructuras salinas (domos, anticlinales, etc.)

Comercialmente la sal se obtiene de todas las fuentes anotadas anteriormente, pero las más importantes por su pureza, cantidad y explotación económica son las obtenidas de las estructuras salinas y evaporación de aguas subterráneas.

Usos.

La sal tiene un gran número de aplicaciones tan específicas y diversas que la convierten en una materia prima de gran importancia para la industria. Se usa directa o indirectamente en la obtención de:

- *Carbonato de sodio*. Pasta de dientes, cosméticos, cerámica y vidrio
- *Silicato de sodio*. Jabones, adhesivos, catalizadores.
- *Cloro*. Papel, purificación de agua.
- *HCL*. Procesos metalúrgicos, acidificación de pozos petroleros o *azufreros*, procesos industriales.
- *NaOH*. Fibras sintéticas, películas de celulosa, refinación del *petróleo*, refinación de aceites vegetales, aditivo en el hule.
- *Sodio*. Detergente, agente deshidratador, explosivos y jabones.

- CaCl_2 . Refrigerante, anticongelante en el carbón y el concreto, cementación en calizas y plásticos.
- NaNO_3 . Pirotecnia, fertilizantes, explosivos y vidrio.
- *Bisulfato de Sodio*. Lavado de textiles, limpiador de porcelana, industria metalúrgica
- *Clorato de sodio*. Pirotecnia, cerillos, explosivos.
- *Cianuros de sodio* Extracción de metales, acondicionadores de suelos, plásticos.
- *Productos alimenticios* (empacado de carnes, pescado, fabricación de grasas quesos, etc.).
- *Control de polvo y hielo en las carreteras*.
- *Sal de mesa*.
- *Agricultura*.
- *Ganadería*.

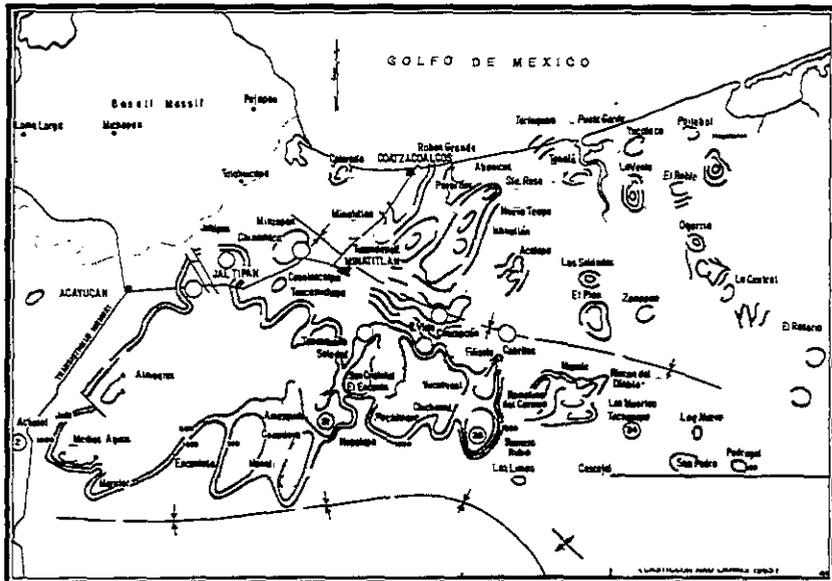


Figura 4.3 localización de los domos salinos en México

Localización de domos salinos en México



La costa del golfo de México, forma parte de una de las provincias salinas mas importantes del mundo, la cual abarca también varios estados de los E.U. y parte del caribe. En la República Mexicana existen estructuras salinas en diferentes lugares, tales como Coahuila, Monterrey, Chihuahua y principalmente en la cuenca salina de Tehuantepec. Esta cuenca abarca los estados de Veracruz y parte de Tabasco (en parte de la plataforma marítima). Figura 4.3.

Domo	Estado	Domo	Estado
Abanicos	Veracruz	Magallanes	Tabasco
Acalapa	Veracruz	Manati	Veracruz
Achotal	Veracruz	Mazate	Veracruz
Almagres	Veracruz	Medellin	Chiapas
Amezquite	Veracruz	Medias aguas	Veracruz
Buena vista	Veracruz	Metate	Veracruz
Cabritos	Veracruz	Moloacan	Veracruz
Cascajal	Veracruz	Moralar	Veracruz
Chichon	Veracruz	Nopalapa	Veracruz
Chichonal	Veracruz	Nuevo Teapa	Veracruz
Chinameca	Veracruz	Ogarrio	Tabasco
Cinco presidentes	Tabasco	Pailebot	Tabasco
Coatzacoalcos	Veracruz	Pajaritos	Veracruz
Colorado	Veracruz	Pedregal	Veracruz
Cosoleacaque	Veracruz	Pochitoque	Veracruz
El burro	Veracruz	Potrerillos	Veracruz
El dorado	Tabasco	Punta gordo	Veracruz
El encanto		Rabon grande	Veracruz
El juile	Veracruz	Remolino del grande	Veracruz
El plan	Veracruz	Romero rubio	Veracruz
El roble	Tabasco	San Cristobal	Veracruz
El rosario	Tabasco	San José del Carmen	Veracruz
El venado		San Pedro	Veracruz
Encantada	Veracruz	Santa Ana	Tabasco
Filisoia	Veracruz	Santa Rosa	Veracruz
Hidalgotitlan	Veracruz	Soledad	Veracruz
Ixhuatlan	Veracruz	Tabasqueño	Veracruz
Jaltipan	Veracruz	Tancamichapan	Veracruz
Jalupa	Tabasco	Teterete	Veracruz
La central	Tabasco	Texistepec	Veracruz
Laguna nueva	Veracruz	Tortuguero	Veracruz
La venta	Tabasco	Tuzandepetl	Veracruz
Las limas	Veracruz	Yucatecal	Veracruz
Los muertos	Veracruz	Zanapa	Tabasco
Los soldados	Veracruz		

Una de las regiones salinas más importantes es entonces, la que se encuentra en el estado de Veracruz, delimitada de Norte a Sur por el río Coatzacoalcos y es un área donde el manto salino tiene poca profundidad y existen varios domos y terrazas de sal de buena calidad.



Esta área salina se extiende en una vasta región alrededor de la ciudad de Coatzacoalcos, Ver. , y comprende diversas áreas. Tal es el caso de los domos de Moloacán, Ixhuatlán, Tunel, Nuevo Teapa, Teapa Viejo, Santa Rosa, Pajaritos y Tuzandépetl, todos ellos en el Estado de Veracruz. Otras masas salinas se encuentran un tanto aisladas de los centros de población como es el caso de los domos de Salsomera, Jaltipan y Chinameca

4.2 USOS DE LOS DOMOS SALINOS

El primer uso que se le dio a estas formaciones salinas estaba en función de la

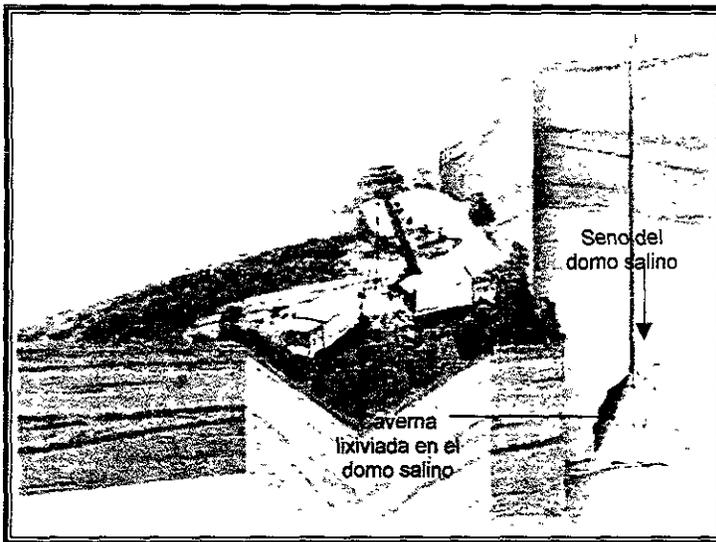


Figura 4.2 Los domos salinos pueden ser usados para almacenar petróleo, gas o desechos tóxicos

explotación de minas de sal. Y durante mucho tiempo se emplearon como tales. Pero el estudio de las características de estos domos salinos, llevo a algunos investigadores a idear algunos usos para las estructuras de sal, figura 4.2, tales como lugares de confinamiento de algunos compuestos especiales, como hidrocarburos y otros. Por



ejemplo, en Inglaterra, Francia, Alemania, Finlandia, y Estados Unidos se tienen sistemas de almacenamiento en domos salinos para crudo y gas natural.

Actualmente existen 2000 cavernas en uso en el mundo, con más de 1000 en los Estados Unidos y algunos más en México. Las cavernas salinas de solución minera en los Estados Unidos se utilizan para el almacenamiento de gas natural y otros productos petroquímicos, así como para los más de 750 millones de barriles de petróleo crudo que comprende la reserva Estratégica de Petróleo de los Estados Unidos. PEMEX también proyecto utilizar cavernas salinas para almacenar petróleo en sus instalaciones de Tuzandépetl, Veracruz.

Hoy en día, la gran mayoría de almacenamientos en cavernas salinas se realiza para productos petroquímicos (incluyendo gases a presión arriba de 250 bares) y en la mayoría de los casos se trata de sustancias volátiles. En más de cuarenta años de uso de las cavernas en domos salinos, nunca ha habido fallas en la sal. En los Estados Unidos, el lodo de perforación (residuos de las perforaciones de explotación de crudo) se almacena actualmente en cavernas de domo salino. Sin embargo, éste no esta todavía legalmente definido como "peligroso", aunque en realidad lo es.

En 1990, el departamento de energía de los Estados Unidos recibió una "variación de no migración" de la E.P.A. (Agencia de Protección Ambiental, por sus siglas en ingles), para almacenar desechos peligrosos y radiactivos en camas salinas subterráneas, en una instalación cerca de Carlsbad, Nuevo México. Este permiso sólo es otorgado cuando la E.P.A. considera que los residuos no migraran al menos en 10,000 años. La prueba más impresionante de la fuerza de la sal subterránea fué la detonación de dos mecanismos nucleares de 5 kilotoneladas en un domo salino de mississippi, en 1964. La explosión no altero la integridad del domo y sólo aumento el tamaño de la caverna a 15 metros. Hasta la fecha no se ha producido ninguna filtración desde la caverna.

4.2.1 Uso para el confinamiento de residuos peligrosos

El concepto de confinamiento de residuos peligrosos surge en Alemania hace más de una década, como una solución a los problemas de contaminación y generación de residuos



industriales. La utilización de estos sistemas se deriva completamente de la tecnología utilizada para la formación de cavernas lixiviadas dentro del domo salino para el confinamiento de gas natural e hidrocarburos.

La sal es un medio receptor ideal para almacenar los desechos peligrosos, ya que es un sólido semi-plástico, prácticamente impermeable. Esto evita la migración de los líquidos, más notablemente de las aguas de los pozos o afuera de las cavernas salinas de solución minera. En los confinamientos que se han desarrollado, se especifica un mínimo de 180 metros de sal sólida en todas las direcciones entre las cavernas y las camas de piedras alrededor del domo salino. En comparación, un campo a la intemperie (un cementerio industrial típico) depende de un fondo de arcilla compactado de 1.5 m. (que es 200 mil millones de veces más permeable que la sal), más dos forros artificiales (que son 200 millones de veces más permeables que la sal).

La sal no es susceptible a la degradación por procesos químicos en temperaturas naturales. Ya que los domos salinos están bajo una gran presión externa, sellan (proceso conocido como "curar") de una manera natural cualquier fractura en la sal. En una presión baja, la sal se "arrastrará" lentamente, llenando espacios vacíos entre las paredes de la caverna y el desecho depositado, "enterrando" así el residuo.

Al utilizar este tipo de confinamientos, tanto en Alemania, como en otros países (tales como Estados Unidos, Francia, etc.), se mostraron tres grandes ventajas en este tipo de instalaciones: técnicas, estratégicas, y económicas. Entre las ventajas técnicas, se pueden señalar las siguientes: seguridad por las mínimas posibilidades de evaporación por estar confinado y situado en promedio 500 m bajo la superficie, lo que impide el desprendimiento de gases, protección al medio ambiente por ser subterráneo, y de instalaciones superficiales con manejo de fluidos mínimos: la capacidad para el depósito de residuos tóxicos (y también para el almacenamiento de hidrocarburos) estará limitada por la extensión de la estructura del domo salino.



De las estratégicas podemos mencionar: riesgos mínimos y a salvo de cualquier contingencia superficial desfavorable (ya sea climáticas, o causadas por la actividad humana), lo cual garantiza seguridad para todo tipo de confinamiento.

En cuanto a lo económico, cabe señalar que, en la operación y mantenimiento del sistema el costo es mínimo, ya que se limita solamente a las instalaciones superficiales, en la construcción a mayor capacidad el costo unitario es menor. Es decir, si se quiere formar otra cavidad minada en el domo salino, se usa la misma infraestructura que para la o las primeras cavidades.

Fundamentalmente se considera que este tipo de instalaciones proporcionan servicio a las grandes industrias (que también son las grandes responsables en el problema de la generación de residuos peligrosos), ya que existe una demanda importante de instalaciones de confinamiento adecuadas por parte de estas industrias.

La demanda está motivada por una creciente conciencia pública acerca de las consecuencias de una eliminación inadecuada, una inevitable y estricta presión del gobierno, la necesidad de buenas relaciones públicas y experiencias con limpiezas costosas, que se han requerido en otros países por métodos de eliminación inadecuados.

Las experiencias exitosas para eliminar los desechos peligrosos y radiactivos en formaciones salinas, las deficiencias comprobadas de los campos al aire libre y la tecnología de incineración, así como la disponibilidad de numerosos domos salinos pone a México en una posición ventajosa para la aplicación de esta tecnología. Pero desde el punto de vista normativo, se habrán de hacer análisis correspondientes para testificar la seguridad de un confinamiento de este tipo.



4.3 USO DE LAS CAVERNAS EN LOS DOMOS SALINOS PARA EL ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS.

Para la utilización de cavernas de domos salinos para el confinamiento de residuos peligrosos se necesitan algunos lineamientos.

A continuación se enlistan las características o requerimientos para la ubicación del domo salino. Una vez seleccionado el lugar se deberá crear las cavernas dentro de la estructura salina de acuerdo a las características geológicas de ésta

- Cercanías peligrosas a mantos freáticos.
- Proximidad a áreas pobladas y caminos de uso público frecuente.
- Proximidad a otras industrias o instalaciones de operaciones riesgosas.
- Manejo y disposición de la salmuera generada de la formación de las cavernas salinas.
- Topografía y efluentes acuosos locales y regionales del sitio.
- Proximidad a ambientes sensitivos a la humedad o al agua.
- Acceso rápido a respuestas de emergencia (para instalaciones superficiales). Tales como equipos de rescate, de bomberos, etc.
- Condiciones locales de intemperie.
- Proximidad a otras actividades subterráneas tales como almacenamientos vecinos, o cavernas de salmuera o pozos de producción de hidrocarburos.

Localización estratégica del domo salino para el deposito de residuos peligrosos.

Las formaciones salinas cumplen con varias expectativas que las hacen el candidato principal para el almacenamiento de residuos peligrosos en cavernas salinas, el siguiente paso es saber donde se va a localizar las instalaciones de confinamiento.



Preferentemente, las instalaciones para el confinamiento de residuos deberán localizarse estratégicamente para poder recibir los desechos, ya sea de una sola industria, o de todo un corredor o parque industrial. Esto es, con el fin de reducir el transporte y mantener un adecuado desplazamiento de estos residuos. Además, se deben considerar también las instalaciones superficiales para el pre-tratamiento de los residuos peligrosos.

4.4 CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL LUGAR DE UBICACIÓN PARA LA CREACION DE LAS CAVERNAS EN UN DOMO SALINO.

Los criterios principales para la creación de cavernas en un domo salino se especifican en este apartado, desde el punto de vista de la seguridad requerida ante la aplicación de una tecnología determinada al confinamiento de residuos peligrosos.

Características Geológicas.

El lugar de creación de la caverna lixiviada requiere de ciertas características geológicas de la estructura salina, tales como un espesor suficientemente grande, una extensión por arriba de los 2,000 m, y si se requiere un control bastante estricto sobre la forma de la caverna lixiviada, la sal deberá tener una composición relativamente pura. De esta manera, pueden establecerse los puntos principales como son:

- Las cavernas deben estar ubicadas a una profundidad mínima de 460 metros (1,500 pies), de acuerdo a la normatividad vigente.
- Debe existir una cubierta de sal de por lo menos 91 metros (300 pies) entre las cavernas y los límites del domo salino, en cualquier dirección.
- Los estudios de los lugares de ubicación deben incluir las investigaciones de cualquier actividad minera previa; las áreas de azufre y/o explotación de salmuera deben tomarse en cuenta.
- Si durante la explotación minera de cavernas se encuentra (con un análisis riguroso de la composición del domo salino) o se sospecha la existencia de sales de alta solubilidad (de potasio, de litio, etc.) o de baja solubilidad (como los carbonatos de calcio y de sodio), se deberán tomar medidas de precaución especiales. Una disolución excesiva o un estrechamiento, ver la figura 4.4 puede requerir que las cavernas se reubiquen lejos de lugares problemáticos.

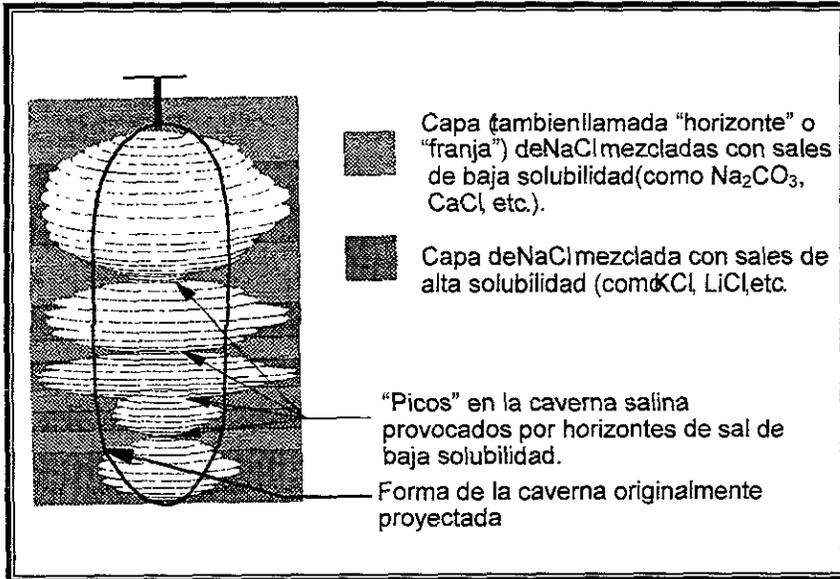


Figura 4.4 Caverna salina con "horizonte de solubilidad variable"

- Las cavernas deben ubicarse de manera que sean cubiertos todos los requisitos ambientales y de seguridad que sean aplicables.

De acuerdo al análisis y estudio realizado con los puntos anteriores, se establece el lugar adecuado para formar la caverna salina. Y considerando el tamaño del domo salino también se proyectan el número de cavernas que podrán ser formadas en la misma estructura. Tal proyección está también en función de las dimensiones de las cavernas salinas. Pero las especificaciones de espaciamiento entre las cavernas se verán más adelante.

4.4.1 Cubierta de sal y espaciamiento de las cavernas

En ocasiones resulta difícil definir de manera precisa la superficie de reservas salinas, especialmente si la superficie es irregular y esta bajo roca frágil. Es aconsejable ubicar las cavernas de almacenamiento en reservas, de manera que se asegure la existencia de una "cubierta de sal" alrededor de ellas. La "capa" superficial también debe ubicarse a una distancia adecuada en la reserva salina, de manera que haya una cubierta de sal

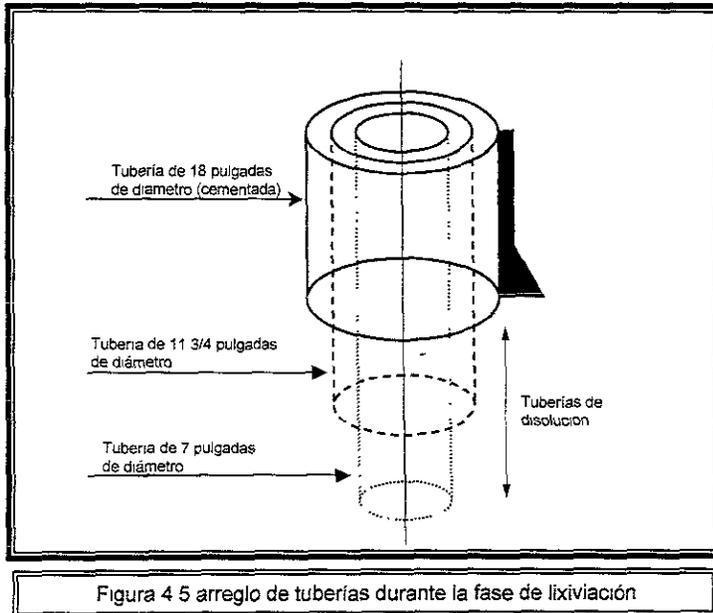


impermeable por las cavernas. Un grosor utilizado normalmente en las cavernas de almacenamiento de hidrocarburos, de los domos de la costa del golfo es de 91.4m (300pies).

El espaciamiento entre las cavernas salinas de almacenamiento varía de un estado a otro en el caso de los Estados Unidos y depende también de que tipo de material se este almacenando. Para el almacenamiento de hidrocarburos, el espaciamiento entre cavernas se regula generalmente especificando una proporción $\frac{P}{D}$ mínima, en donde P es el grosor del "pilar" de sal (pared) entre las cavernas y D es el diámetro de la caverna. Por ejemplo, la proporción $\frac{P}{D}$ mínima para la Reserva Estratégica de Petróleo de los Estados Unidos era de 1.78 m Generalmente, también se especifica la distancia mínima desde las líneas de propiedad. Por ejemplo, puede requerirse que una caverna tenga al menos 30.5 m (100 pies) desde una línea de propiedad, lo que implica un grosor mínimo de sal de 61 metros (200 pies) entre las cavernas, que puede estar presente en diferentes propiedades. La reglamentación de espaciamiento de cavernas puede implicar una "diferencia" (modificación) fundamentada en los resultados obtenidos en los estudios de lugares de ubicación específicos. Este tipo de estudios frecuentemente también se utiliza para determinar el espaciamiento de las cavernas para el almacenamiento de gas natural. Desde el punto de vista normativo y estratégico, el número de cavernas está de acuerdo a las características de los residuos peligrosos, dado que por normatividad, hay algunos tipos clasificados de residuos, no pueden ser mezclados entre si, por lo que cabe la necesidad de hacer más cavernas en el macizo salino.



4.5 CREACION DE LAS CAVERNAS



Lixiviación.

El proceso de lixiviación (formación) de las cavidades es simple y consiste en inyección de agua a los pozos y extracción de salmuera. Sin embargo, ésta es la parte más importante en la creación de las cavernas y que involucra tecnología específica para crear la cavidad con forma geométrica lo más estable posible y conforme a las necesidades y forma de operación de la misma.

De acuerdo a las características geológicas, y geotécnicas del domo salino y a las especificaciones técnicas de la operación, normalmente se utilizan los siguientes diámetros del aparejo de tuberías para la lixiviación (figura 4.5): de 18 pulgadas para la tubería de revestimiento, 11 3/4 de pulgada para la extracción de salmuera y 7 pulgadas para la inyección de agua; las dos primeras servirán posteriormente para la operación de las cavidades y la de 7 pulgadas se podrá utilizar en otras operaciones de perforación del mismo tipo, para futuras cavernas a lixiviar.

El proceso de lixiviación de las cavidades se logra mediante la introducción de agua dulce por la tubería de 7 pulgadas de diámetro (figura 4.6) y extracción de la salmuera obtenida por la disolución de la masa salina, por el espacio anular entre la tubería mencionada y la de 11 ¾ de pulgada, operación llamada lixiviación o circulación directa. En el caso de inyectar el agua por el anular de 7-11 ¾ pulgadas, y obtener la salmuera por la tubería de 7 pulgadas se llama lixiviación inversa. La combinación de estas dos formas de circulación de fluidos y por la colocación de las tuberías se logra la forma geométrica requerida. El tipo de lixiviación (directa, inversa), proporciona diferentes configuraciones de cavidad por la disolución de la sal, tal que, con circulación directa se obtiene una cavidad con mayor diámetro en la parte inferior del tramo en lixiviación y con la inversa se obtiene un diámetro mayor en la parte superior. Cabe mencionar que para confinar la disolución de la sal a la altura deseada se coloca un sello de algún aceite más ligero e insoluble (algún hidrocarburo, por ejemplo Diesel) en el anular de la tubería de revestimiento de 18 pulgadas y la de 11 ¾ pulgadas.

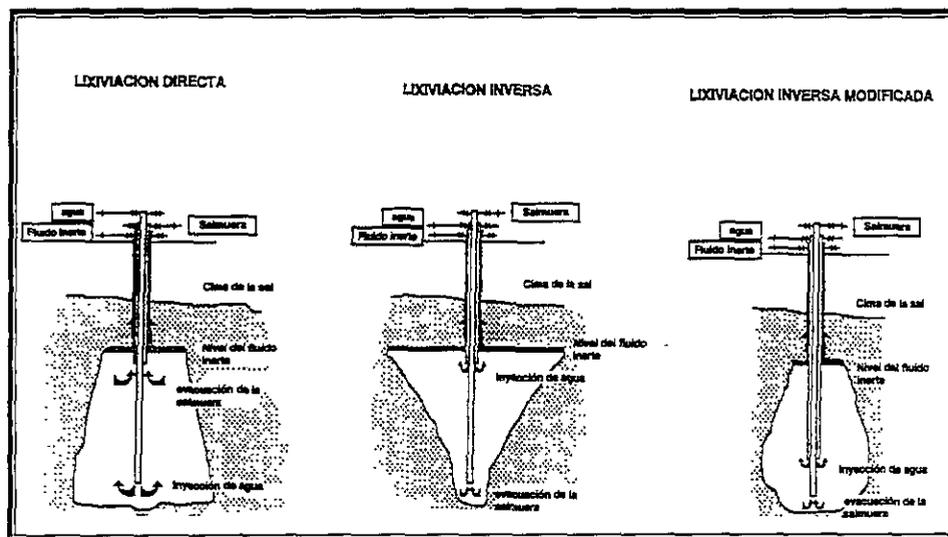


Figura 4.6 Tipos de lixiviación

La lixiviación se hace por etapas mediante el posicionamiento de las tuberías de 7 y 11 ¼ pulgadas en diferentes alturas y haciendo circular el agua en forma directa y/o inversa se establece el programa de formación de la cavidad, que es confirmado por un programa de simulación.

Para la comprobación de la forma real de la cavidad durante la lixiviación, se mide varias veces la forma geométrica real obtenida mediante una sonda sonar y se aporta como datos de entrada al programa de computo basados en técnicas de ingeniería estructural, por el método del elemento finito para evaluar los esfuerzos y deformaciones en función del tiempo que se presentaran en el macizo de sal, que tiene un comportamiento complejo debido a las características viscoplásticas de la sal, observándose si la estabilidad de la cavidad está dentro de los límites de tolerancia. La parte más vulnerable es el techo de la cavidad, por lo que en su formación se hace crítico el control del sello de diesel que fija la altura de la disolución deseada.

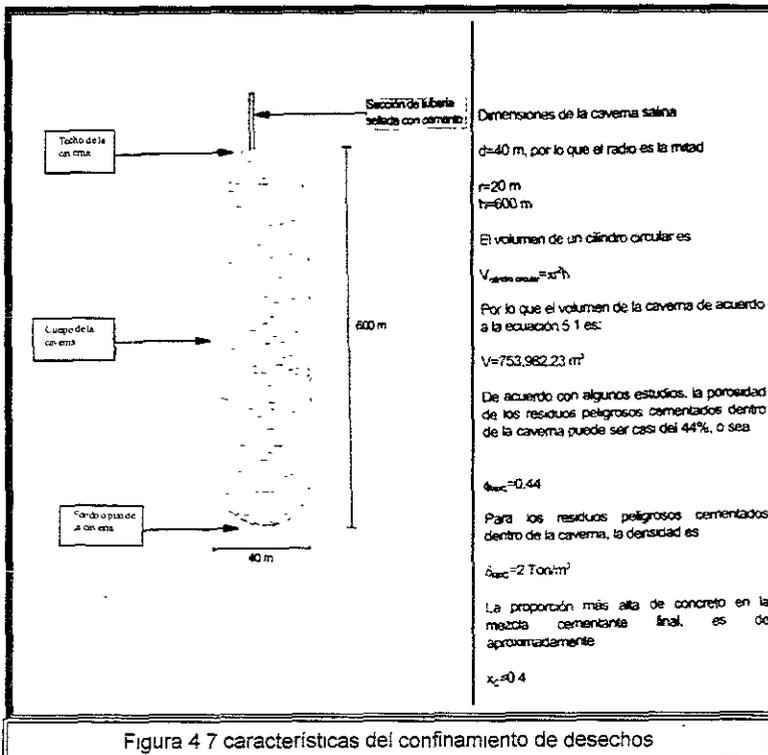


Figura 4 7 características del confinamiento de desechos



Antes de que los residuos peligrosos sean depositados, se prueba si hay posibilidad de filtrado en la caverna, y ésta se presuriza con gas de nitrógeno a una presión de 1,000 psi. Si la caverna mantiene esa presión por 96 horas, entonces la salmuera se bombea hacia fuera y puede producirse el secado de la caverna (Figura 4.7).

Como una aproximación cercana a las capacidades de los equipos para una instalación típica, se darán los siguientes datos, tomados de la especificación de las instalaciones para el almacenamiento de hidrocarburos en el año de 1990 en el domo salino de Tuzandépetl, Veracruz. Para la formación de las cavidades se emplea suficiente agua de algún río, lago o laguna, que pueda captarse de una bocatoma con una capacidad aproximada de $1,000\text{m}^3$ y bombeado mediante 6 bombas de 50,000 BPD (Barriles Por Día) a través de 2 acueductos de 16 pulgadas, la cual es recibida en un estanque de $4,000\text{ m}^3$ que se utiliza como de balance y cuyo almacenamiento es de 3 horas; de éste se toma el agua para inyectarla a los pozos por medio de 3 bombas de 100,000 BPD. La capacidad normal del sistema es de 200,000 BPD suficiente para poder inyectar agua a cuatro pozos al mismo tiempo, lo cual satisface las necesidades para lixiviar cuatro cavidades simultáneamente (50,000BPD cada una).

La salmuera obtenida de las cavidades se recibe en una presa, en la que se decantan los sólidos suspendidos que contenga la salmuera y mediante un sistema de bombeo consistente de 3 bombas de 100,000 BPD se envía al mar, o a una laguna de regulación por un salinoducto de 20 pulgadas. Es importante mencionar que deberán realizarse estudios a los sistemas por los que se vierte la salmuera al mar para establecer un diseño adecuado de difusión, el que ayudara a tener un menor detrimento ecológico. Adicionalmente deberán efectuarse campañas de monitoreo con el fin de medir la alteración del sistema ecológico. En algunos países se ha encontrado que los resultados obtenidos hasta la fecha indican que cuando la salmuera es revertida hacia el mar, el sistema se restablece rápidamente después de suspender la salmuera vertida, no teniéndose alteraciones ecológicas permanentes.

Operación de la caverna lixiviada en el domo salino.

Para la operación de las cavidades después de haberlas lixiviado y verificado su hermeticidad, se elimina la salmuera de la siguiente manera: Se desplaza la tubería de 7 pulgadas hacia el fondo de la caverna, donde se empieza a succionar la salmuera por medio de bombeo. Por el anular de la tubería de 11 $\frac{3}{4}$ pulgadas, se inyecta aire para mantener la presión litostática dentro de la caverna, y también para crear presión adicional que expulse la salmuera de la caverna.

Cuando toda la salmuera es retirada (hasta donde sea posible), se elimina la tubería de 7 pulgadas, quedando únicamente la de 11 $\frac{3}{4}$ pulgadas hasta una parte media de la cavidad y la cementada de 18 pulgadas. Se inyecta una mezcla cementosa (de concreto normal) hasta el fondo de la caverna, de manera que tenga una capa uniforme cubriendo la parte baja de la caverna, para así mantener un área superficial suficientemente grande y empezar a introducir el desecho tóxico. Después, se empiezan a inyectar los "pellets" (trozos de residuos peligrosos solidificados con concreto) al interior de la caverna, por la tubería de 11 $\frac{3}{4}$ pulgadas, manteniendo la uniformidad del grosor del nivel de llenado en la caverna. De manera simultánea se retira poco a poco la tubería de operación.

Una vez que la caverna ha sido llenada a su máxima capacidad con los desechos, se hará egresar la cubierta de sal y cualquier espacio que quede en la caverna se llenará con una capa de cemento portland y una capa de cemento asfáltico. La perforación sin cubierta restante en la sal, se llenará con sal para que con el tiempo la caverna de confinamiento quede completamente enterrada en sal. Finalmente la perforación cubierta será "lechada" (sellada) con la superficie.

CAPITULO V

TRANSFERENCIA DE MASA EN UN CONFINAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS

"No crean que no me doy cuenta quien sabe Cálculo y quien no sabe,
basta que los pase al pizarrón
y luego no saben si sumar, restar, multiplicar o
ponerse a llorar".
Ing Rodolfo Zaragoza Buchain
Profesor de IME en la ENEP Aragón

5.1 TRANSFERENCIA DE MASA DE UN CONFINAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS.

Los fenómenos de transferencia de masa son comunes en la naturaleza e importantes en todas las ramas de la ciencia e ingeniería. La "transferencia de masa" que se ha popularizado sólo durante los últimos años, se refiere al movimiento de moléculas o elementos de fluidos causado por alguna forma de energía potencial o "fuerza impulsora". Esto incluye no sólo la difusión molecular, sino también el transporte por convección y a veces la mezcla simple de materiales como el flujo de un fluido por un conducto.

•**Flujo de salmuera en la caverna.** Este tipo de transporte nos lleva al análisis del peligro de lixiviación de los residuos peligrosos al cuantificar el flujo de salmuera llevado hacia dentro de la caverna para formar soluciones peligrosas.

El análisis de este fenómeno se ha delimitado a tres mecanismos de transporte de materia que consideramos abarcan cualquier tipo de "migración" presente en las cavernas de confinamiento de residuos peligrosos. Estos mecanismos son:

•**Transferencia de masa en estado líquido.** Con ésto se analiza cuál es el riesgo que existe si el residuo peligroso se vuelve (por algún tipo de interacción) al estado líquido y éste migra a la masa salina.

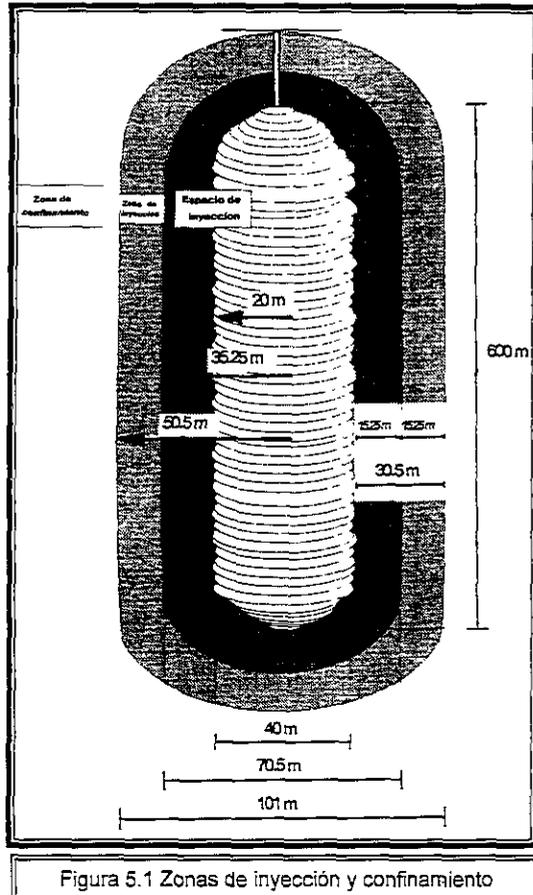
•**Transferencia de masa en estado gaseoso.** Cuando un residuo peligroso es confinado, pueden ocurrir reacciones químicas que produzcan gases tóxicos y peligrosos. Entonces se analiza la transferencia de estos gases a través del macizo salino.

Desde un punto de Vista regulatorio, un sistema de confinamiento de residuos peligrosos deberá cumplir el requisito de "no-migración" requerido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA). La "no-migración" implica un confinamiento de residuos por 10,000 años.

Para la demostración de ésta condición se requerirá del cálculo de modelos matemáticos y dichos modelos deberán estar basados en características físicas y químicas de los residuos y del medio ambiente geológico. Una característica original del requerimiento de "no-migración"

es que está rutinariamente dirigido a cavidades de confinamiento para residuos líquidos, mientras que nosotros consideramos residuos en forma sólida.

De acuerdo con algunos estudios llevados a cabo por especialistas en hidrogeología y petroquímica, las entidades que componen a una caverna y sus alrededores en el domo salino están bien definidas e incluyen una zona de inyección y una de confinamiento (figura 5.1). Estas zonas son partes de unidades geológicas donde las secciones de inyección tienen una alta permeabilidad y las secciones de confinamiento deben ser poco permeables. Los requerimientos de "no-migración" para domos salinos no son los de rutina por varias razones, sobre todo (como se mencionó anteriormente) porque los residuos son sólidos, no



líquidos y serán situados en cámaras lixiviadas de un tamaño y formas específicas.

Para que la migración se lleve a cabo, en primer lugar los residuos sólidos tienen que ser convertidos a una forma fluida. La sal y los domos salinos, en particular, no son normalmente considerados como un medio fluido por que su permeabilidad y contenido de agua son muy bajos. Sin embargo, aún si asumimos que los residuos pasarán a su forma líquida después de algún tiempo de haber sido colocados, la pregunta es: ¿Cómo éstos serán transportados fuera de las paredes de la caverna de sal? Dos mecanismos pueden ser utilizados para explicar estas cuestiones: el flujo de un fluido y la difusión molecular a través de los poros de la roca salina.

5.1.1 Características Generales de un Confinamiento Típico.

En la figura 5.1, se muestran las dimensiones proyectadas de un sistema de confinamiento de residuos peligrosos. Bajo las regulaciones ambientales que son inherentes al sistema propuesto, se establece un parámetro de seguridad para la "no-migración" de residuos peligrosos confinados en este tipo de cavernas.

El espacio de inyección es tomado como la medida de la caverna, que es de 40 m de diámetro y aproximadamente 600 m de altura, más 15.25 m adicionales radiales, hacen aproximadamente un cilindro de 70.5 m de diámetro. La zona de inyección se extiende otros 15.25 m en todas direcciones desde el espacio de inyección y la zona de confinamiento es el resto del medio ambiente de la roca salina. El objetivo de la "no-migración" es demostrar que las condiciones del sitio, son aquellas en las que los residuos no migrarán fuera de la zona de inyección.

Esta restricción permite que el transporte de residuos a distancia no exceda 30.5 m radialmente desde la pared de la caverna o, aproximadamente, 50.5 m desde el eje de la caverna.

5.1.2 Definición de Zonas Activas.

Las zonas activas son áreas en donde la concentración de residuos peligrosos lixiviados en

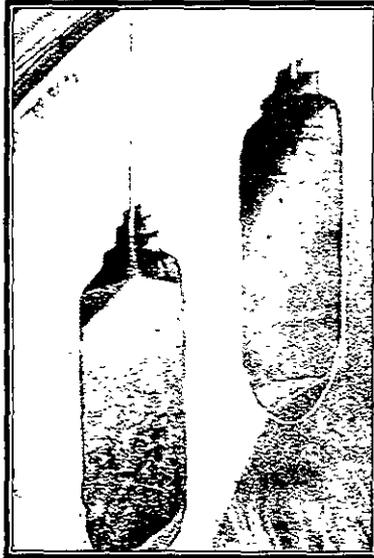


Figura 5.1 Definición de zonas activas para esta caverna, las zonas activas son definidas como los límites de la propia caverna con un área definida de la masa salina, en donde la concentración de residuos es máxima y representa la fuente de "migración" de lixiviados riesgosos al seno del domo salino (definidas aquí por las secciones a y b)

fase líquida es máxima y por ende, es el origen de migración para presentar fenómenos de transferencia de masa instantánea. En este caso, son los límites de la caverna sellada y llena de residuos con la masa salina figura 5.1

5.1.3 Modelos Conceptuales,

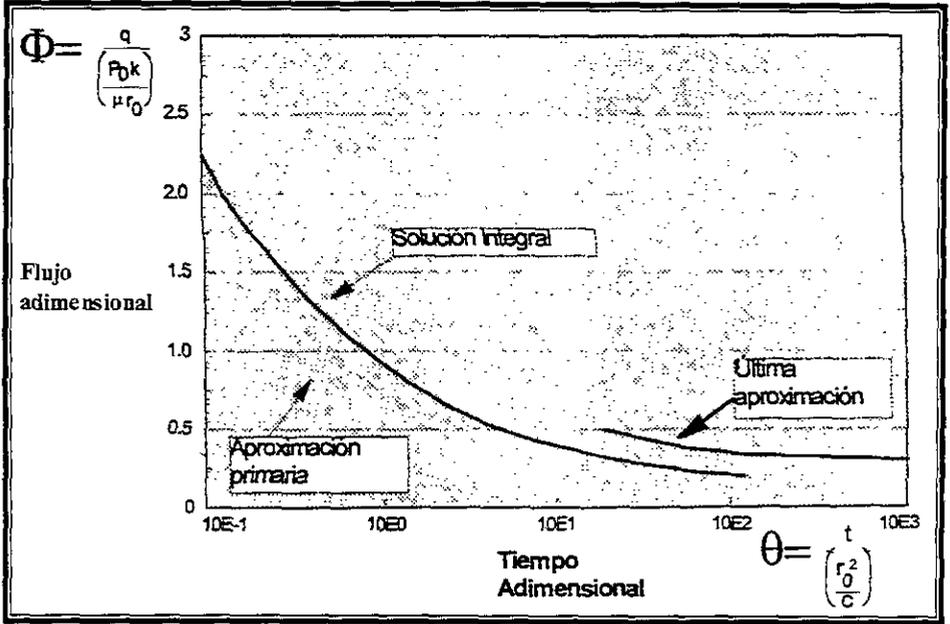
La mayoría de los estudios sobre la migración de la salmuera en los cuerpos salinos, se centran en el movimiento de las inclusiones de este fluido intercrystalino, llevado por grupos y técnicos asociados con el confinamiento de residuos radiactivos. Como se espera que los

residuos sólidos no afecten los bajos gradientes de temperatura en el domo, la contribución de salmuera por esta causa puede ser insignificante. Sin embargo, existe la posibilidad de transportar salmuera a la caverna por flujo Darciano, definido como el flujo en el espacio interconectado del poro, llevado por un gradiente de presión que puede ser causado por las condiciones de presión atmosférica en la caverna minada y por las presiones del fluido en el poro de la roca en el seno del domo salino. Estas últimas presiones pueden variar entre hidrostáticas y litostáticas. Por otro lado, la movilización de los residuos en forma sólida no puede ocurrir sin su transformación a una forma fluida (líquido o gas).

Dos son los modelos conceptuales propuestos para describir esta condición de flujo. En primer lugar y probablemente el más realista, asumimos que existe al menos alguna porosidad interconectada en la masa salina y esta porosidad contiene salmuera. Estos escasos fluidos limítrofes están probablemente tan comprimidos que el flujo sólo puede ocurrir en respuesta a un elevado gradiente de presiones, como en la región cercana a la caverna. Sin embargo, no lejos, un fenómeno de flujo de salmuera podría presentarse por la ausencia de fuertes fuerzas generadas sobre una escala regional en dirección contraria al depósito. Estos modelos predicen una afluencia limitada de la salmuera que tiende a cero en un período de tiempo corto. Muy probablemente, la única salmuera asequible para entrar en la cámara sería aquella retenida en la zona activa en la pared de la cavidad.

Un segundo modelo conceptual asume un campo saturado de salmuera lejano y la continuidad de la porosidad efectiva hasta el depósito salino. El gradiente de presión es libremente transmitido desde el campo cercano al lejano. Este modelo de un medio poroso con la enorme diferencia de presiones predice grandes volúmenes de afluencia.

gráfica 5.2



Gráfica 5.2 Flujo para una cámara circular

La solución general para el modelo del medio poroso se muestra como una gráfica de tiempo adimensional contra flujo adimensional (gráfica 5.2). Estos se calculan con:

$$\theta = \frac{t}{\left(\frac{r_0^2}{c}\right)} \tag{5.1}$$

$$\phi = \frac{q}{\left(\frac{P_0 k}{\mu r_0}\right)} \tag{5.2}$$

Donde las variables θ y Φ son el tiempo y flujo adimensionales respectivamente, t es el tiempo (s), r_0 es el radio de la cámara (μ), c es la difusividad del fluido $\left(\frac{m^2}{s}\right)$, q es la velocidad del fluido $\left(\frac{m}{s}\right)$, P_0 es la presión hidrostática o litostática (MPa), k es la

determinación de un tiempo adimensional que permite predecir el flujo dimensional, del cual la velocidad de flujo de la salmuera q puede ser calculado para el tiempo de interés.

Parámetros e incertidumbres.

Ahora existe el problema de la selección y establecimiento de los parámetros para los cálculos y estimaciones necesarias. Primero, asumimos que la caverna tiene un radio de 20 m. En la roca salina el radio disminuirá un poco, cuando las condiciones de presión litostática son restablecidas en la cavidad debido al desplazamiento natural hacia adentro de la sal, esto es debido a las características elastoviscoelásticas de las masas salinas.

figura 5.3

La compactación de la caverna también afecta la selección del período de tiempo de infiltración. Cuando el agregado sólido está dispuesto en la cavidad, su porosidad puede ser tan alta como un 44% y la presión es atmosférica. Con el deslizamiento plástico, esta porosidad se reducirá hasta, tal vez, un 10% y la presión en el cuerpo del agregado será eventualmente de la misma magnitud que la de la roca sin perturbar. Lo cual significa que la fuerza transmisora del movimiento del fluido en la caverna eliminada. El tercer parámetro es la viscosidad y se toma como $1.6 \cdot 10^{-3}$ Pa.s, establecido por especialistas en hidrogeología durante el estudio de los domos salinos de Nuevo México, Ohio y Texas, en E. U.

Una de las selecciones de parámetros más críticos es la fuerza transmisora del movimiento del fluido que puede abarcar desde la presión hidrostática hasta la presión litostática. La presión litostática se define como el resultado de la compresión debido a las capas geológicas (desde el nivel del terreno hasta una determinada profundidad) y las presiones asociadas a los movimientos de compresión de la corteza terrestre hacia una determinada zona. La presión hidrostática es la presión estimada del agua (o salmuera, más específicamente en este caso) bajo la influencia de las fuerzas de compresión debidas a las profundidades geológicas. Mientras ésta se puede obtener de cálculos por modelos establecidos, la presión litostática puede obtenerse por modelos y estimaciones, o por un análisis real en el sitio mediante sensores puestos en sondas de excavación(

En nuestro modelo la presión litostática será tomada de 18.6 MPa. Esta es la presión litostática estimada en la parte media de la cavidad (figura 5.3) alrededor de 500 m de profundidad, con una presión aproximada de 11.5 MPa) y del fondo de la caverna (cerca de 1,100 m, 26 MPa). La presión hidrostática a esta misma profundidad es de alrededor de 9 MPa. Como el flujo será directamente proporcional al gradiente de presión, los flujos calculados y los volúmenes determinados bajo condiciones de presión litostática serían mayores en un factor de cerca de dos para los estimados bajo presión hidrostática. Con el fin de mantenernos en un rango de seguridad, utilizamos la mayor fuerza litostática transmisora en el análisis.

Otro parámetro importante es la permeabilidad del depósito de sal. la permeabilidad también afecta las estimaciones de la difusividad del fluido, pero se requiere de otro parámetro. Hay dos valores de permeabilidad que son de consideración. El primero, es la permeabilidad en la zona activa en inmediata vecindad con la pared de la caverna. El segundo, es la permeabilidad del cuerpo salino fuera de la zona activa. Las permeabilidades de las zonas activas en la sal no están bien documentadas, aunque se ha sugerido que la migración sobreestimada (aunque lejos de ser potencialmente peligrosa) en el sitio con un peso de agua no enlazada del 0.1 al 1%. La zona activa de la mina Asse en Alemania ha sido determinada alrededor de 3 m, donde la permeabilidad disminuye desde 10^{-21} m^2 en la superficie de la roca hasta su valor ambiente de 10^{-21} m^2 a 3 m. La mina Asse ha sido mecánicamente minada, mientras que nosotros planteamos la posibilidad de una caverna lixiviada.

Es anticipado que la lixiviación diera como resultado una zona activa más pequeña que a producida por el minado mecánico. Para quedar con un margen de seguridad, distribuimos todo el potencial de agua en la zona activa de 3 metros de ancho al periodo de tiempo cero y ajustamos la afluencia sobre la variante de tiempo en un periodo de 100 años. La permeabilidad de la zona activa es muy baja. La permeabilidad de la roca salina a la presión litostática se reporta de 0.05 microdarcios ($4.8 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2$). Las pruebas sobre las formaciones salinas de Castilla, España, con taladro de vástago han mostrado permeabilidades menores que la capacidad medida en los aparatos de prueba. Esto indica una permeabilidad no mayor de 1 nanodarcio $1 \cdot 10^{-14}$ de conductividad hidráulica o $1 \cdot 10^{-21} \text{ m}^2$ y menores. Tablas de

permeabilidades basadas en pruebas con taladro de vástago en sales muestran un rango de permeabilidades desde $9 \cdot 10^{-21}$ hasta $2.5 \cdot 10^{-17} \text{ m}^2$.

La mayoría de la información sobre la permeabilidad salina Proviene del sitio WIPP, donde el objetivo es la colocación de residuos nucleares en lechos salinos en Nuevo México. En nuestro modelo de domos salinos se propone la roca salina como huésped, además de ser considerablemente seca y de más baja permeabilidad que la del lecho salino. Los domos salinos contienen un 0.002% del peso del total del agua (libre y enlazada químicamente), anticiparnos una permeabilidad algo menor, de 10^{-21} m^2 . Con la finalidad de mantener un margen de seguridad, asumimos una permeabilidad de $1 \cdot 10^{-21}$ para nuestro análisis.

Ahora se procede a la determinación del coeficiente de difusión. El coeficiente de difusión depende de la presión, temperatura y la composición del sistema. En contraste con los gases, para los cuales existe una teoría cinética avanzada para explicar el movimiento molecular, las teorías de que se dispone para explicar la estructura de los líquidos y sus características de transferencia aún son inadecuadas para permitir un tratamiento riguroso. Los líquidos se caracterizan por una combinación de fuerzas intermoleculares fuertes además de los arreglos caóticos irregulares de los átomos presentes en la fase gaseosa, Esta combinación ha agravado el problema de describir con precisión el estado líquido cuantitativamente y ha hecho difícil predecir las propiedades de transporte. Varios intentos para tratar datos de líquidos han generado diversas divisiones estructurales para el estado líquido variando desde un gas denso hasta un sólido (con restricciones).

El uso de modelos gaseosos para describir el estado líquido se debió en parte al hecho de que el movimiento atómico en un líquido era un proceso al azar. En contraste, los modelos de tipo sólido se han basado en el comportamiento de los metales líquidos, a causa de los conglomerados atómicos los cuales se presentan como arreglos atómicos casi regulares que existen justo arriba del punto de fusión debido a sus grandes fuerzas intermoleculares.

La dificultad de tratar al estado líquido llega a ser fácilmente evidente ya que los líquidos en realidad consisten en conglomerados de átomos o moléculas dispuestos en forma irregular, los cuales existen en un estado activado y presentan movimientos molecularmente aleatorios. Aunque se pueden obtener valores relativamente exactos de los coeficientes de

difusión a partir de las soluciones a la ley de Fick para gases, líquidos y sólidos, se conoce poco del mecanismo real de la difusión de líquidos en comparación con los gases y sólidos.

Debido a la falta de un modelo estructural teórico preciso para líquidos, se ha realizado un considerable trabajo en esta área. La situación se complica cuando se trata de establecer las leyes de la difusión para soluciones acuosas electrolíticas. En este contexto, el cloruro de sodio, NaCl, se dispersa en agua como iones Na⁺ y Cl⁻.

Por tanto, los estudios previos para evaluar la difusividad de una solución electrolítica han sido llevados a cabo para este caso de estudio, bajo condiciones especificadas en el ambiente geohidrológico de los domos salinos. Así pues, mediante la correlación de propiedades de soluciones electrolíticas encontraron que la difusividad del fluido c puede ser entonces calculada utilizando el siguiente grupo de ecuaciones, donde todos los parámetros están citados en el cuadro 5.1:

Propiedad	Valor	Símbolo	Unidades
Térmica			
Conductividad térmica	5	k	W/mK
Dilatibilidad térmica	2.5*10 ⁻⁴	α	m
Elástica			
Módulo de drenado	20.7	K	GPa
Módulo de zona	12.4*10 ⁹	G	GPa
Relación de Poisson drenado	0.25	ν	
Módulo en el seno del fluido	2	K _f	GPa
Módulo del seno del sólido	22.5	K _s	GPa
Expansibilidad del fluido (25 °C)	4.6*10 ⁻⁴	α _f	
Expansibilidad del sólido	1.2*10 ⁻⁴	α _s	
Hidráulica			
Permeabilidad	10 ¹⁰ a 10 ¹²	k	m ²
Porosidad	1*10 ⁻⁴	n	
Viscosidad del fluido (25 °C)	1.6*10 ⁻³	μ	Pase
Densidad			
Dilatibilidad del fluido	1.376*10 ⁻⁴	β	m ³ /m ³
Relación de Poisson	0.25	ν _s	
Coeficiente de presión	0.63		

Cuadro 5.1 Propiedades materiales estimadas para domos salinos

$$c = \frac{k}{\mu} \frac{2G(1-\nu)}{(1-2\nu)} (B)^2 \frac{(1+\nu_z)}{9} \frac{(1-2\nu)}{(1-\nu_z)(\nu_z-\nu)} \quad (5.3)$$

$$\frac{1}{B} = 1 + \frac{k}{k_f} \frac{\left(1 - \frac{k_f}{k_s}\right)}{k_f \left(1 - \frac{k}{k_s}\right)} \quad (5.4)$$

$$V_u = \frac{3\nu + B(1-2\nu) \left(1 - \frac{k}{k_s}\right)}{3 - B(1-2\nu) \left(1 - \frac{k}{k_s}\right)} \quad (5.5)$$

5.1.4 Cálculos y Resultados del Flujo de Salmuera.

El cálculo de la permeabilidad, según los datos del cuadro 5.1 y sustituyendo los valores tenemos:

$$B = 1.2426 \cdot 10^{-2}$$

$$V_u = 0.2503$$

$$C = 1.0781 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

El volumen de afluencia desde la zona activa puede ser estimado restando el volumen de la caverna de un volumen mayor que consiste en el radio de la cavidad más 3 m de la zona activa (figura 5.4).

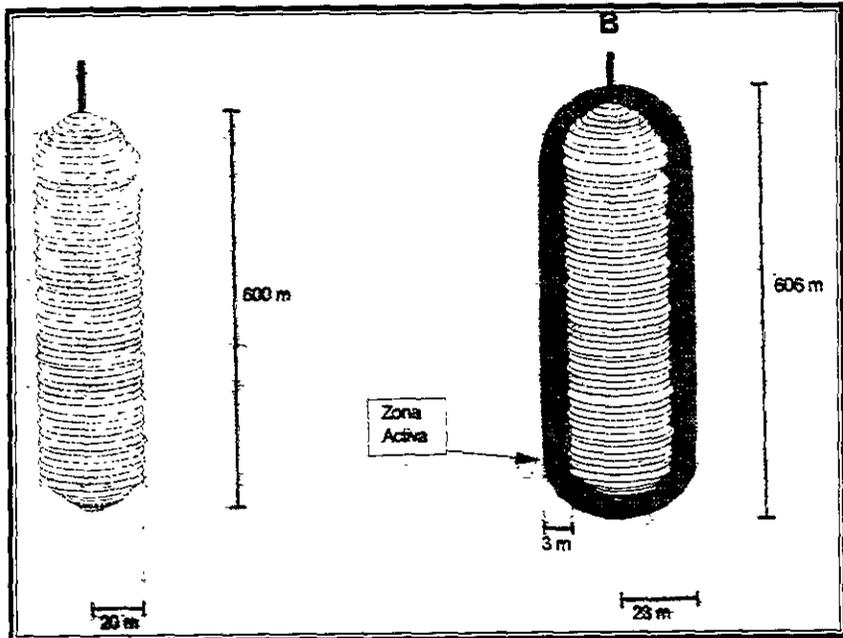


Figura 5.4 Delimitación de la zona activa

Volumen de la zona activa:

$$V_{ZA} = V_B - V_A$$

$$V_{ZA} = 253,130.69 \text{ m}^3$$

De acuerdo a los datos recopilados en el sitio WIPP, en Texas, E. U.

Masa total de la zona activa:

$$m_{ZA} = \delta_{m_s} V_{ZA}$$

$$m_{ZA} = 565,670,876.6$$

Masa total de la salmuera en la zona activa:

$$m_{sal} = m_{ZA}(0.002\%)(1/100\%)$$

$$m_{sal} = 11,353.41 \text{ kg}$$

Volumen total de salmuera en la zona activa (que se considera presente al tiempo cero y que puede fluir al interior de la caverna).

$$V_{sal} = \frac{m_{sal}}{\delta_{sal}} \quad (5.7)$$

$$V_{sal} = 10.90 \text{ m}^3$$

Estos cálculos tienen como base, que toda el agua medida en el domo salino se encuentra en estado líquido.

□

Ya se tiene entonces el agua (por salmuera incluida en el seno del domo salino) al tiempo cero del análisis y ahora se procede al cálculo del flujo de salmuera al tiempo mayor de cero, con el segundo modelo conceptual. El segundo modelo se basa en la gráfica adimensional de la gráfica 5.1 con la inherente suposición de un flujo en un medio poroso. Recalcamos que no esperamos que un domo salino se comporte como un medio poroso y que los cálculos basados en la gráfica adimensional para este modelo sobrestiman la afluencia de la salmuera. Las variables usadas para el cálculo, son las siguientes:

La primera parte del cálculo, es expresar el tiempo de cálculo t (en el que se desea saber la afluencia de la salmuera), en segundos. Después, tomando la ecuación del tiempo adimensional:

$$\theta = \frac{t}{\left(\frac{r_0^2}{c}\right)}$$

Para sintetizar el cálculo, tenemos que:

$$\frac{r_0^2}{c} = 371, 007, 1 89.4 \text{ s} \quad (5.8)$$

Después de calcular el tiempo adimensional, se procede a localizar la abscisa sobre la curva y se determinan la ordenada al origen ϕ , que es el flujo adimensional, determinado por

$$\phi = \frac{q}{\left(\frac{P_0^k}{\mu_0^r}\right)} \quad (5.9)$$

Donde q , es la afluencia de la salmuera al tiempo dado. Para calcular esta afluencia de salmuera,

$$q = \phi \left(\frac{P_0^k}{\mu_0^r}\right) \quad (5.10)$$

Para facilitar el cálculo, sintetizamos:

$$\frac{P_0^k}{\mu_0^r} = 5.8125 \cdot 10^{-12}$$

Por lo que la afluencia tendrá unidades en $\frac{m}{s}$ Para calcular el volumen de afluencia en m^3 solamente, se usa la relación siguiente:

$$V_{\text{afluencia}} = St$$

Donde S es la superficie del cilindro considerado como la caverna de confinamiento, t es el tiempo de afluencia y q la afluencia de salmuera en el tiempo dado.

La superficie se calcula de acuerdo a:

Entonces, la salmuera total (Líquido al cual se considera no enlazado químicamente con el NaCl) se calcula por

$$V_{\text{salmuera total}} = V_{\text{sal}} + V_{\text{afluencia}}$$

De acuerdo al procedimiento anterior, el volumen de afluencia estimado para diferentes tiempos, se muestra en el cuadro 5.2 (con el tiempo de cálculo expresado en años para una representación más clara).

Volumen de afluencia de salmuera a diferentes tiempos	
Tiempo (años)	Volumen total (m ³)
0	10.90
10	279.23
100	1,472.31
1,000	7,970.04
10,000	43,357.74

Cuadro 5.2

Considerando que el volumen de la caverna es de 753,982.23 m³, entonces el volumen acumulado de salmuera en 10,000 años de confinamiento, equivale a menos del 6% del volumen total del confinamiento.

CONCLUSIONES

Bueno, realmente aún no terminas...
Apenas empiezas.
M.en I. Cutláhuac Osornio Correa
Profesor de IME en la ENEP Aragón

CONCLUSIONES

El uso de cavidades en domos salinos para el almacenamiento de desechos peligrosos, es un método seguro, que permite reducir de manera sustancial el problema de contaminación, ya que el producto queda herméticamente confinado en un medio impermeable.

Esta técnica ha sido utilizada para el confinamiento de desechos industriales peligrosos, a los cuales ya no fue posible realizarles procedimientos de recuperación y reciclado. En Alemania ha sido aplicada por la Cía. PB KBB y en los Estados Unidos de Norte América por la Cía HUNTER.

Los recortes de perforación producidos por PEMEX, pueden ser confinados en una o varias cavidades, las cuales pueden construirse en cualquiera de los domos detectados cerca del área de Dos Bocas, aquí se depositarían además otros contaminantes producidos por las operaciones de perforación, terminación y producción de hidrocarburos.

La inversión inicial para el desarrollo de este tipo de proyectos, es elevada, sin embargo, constituye un método efectivo de disposición de desechos contaminantes y permite a la compañía productora tener una alternativa segura y ambientalmente propicia.

Los costos de disposición de abaten en la medida que las cavidades sean más grandes, ya que se podrán confinar mayores cantidades de desechos.

Un aspecto importante del programa de manejo de desechos, es la segregación de materiales de acuerdo a sus características físicas y químicas. Una caracterización inicial de los desechos ayudará a determinar cuales de ellos son similares para ser combinados y así simplificar su almacenamiento, tratamiento, reciclado, y cuales deben ser segregados.

La modificación de procesos puede ser posible a través del uso eficiente de los componentes mecánicos, tales como el uso de barrenas de perforación mas eficientes, nuevas formulaciones de lodo, aditivos químicos y cribas que pueden reducir significativamente el volumen de sólidos de formación producidos.

Aplicar la sustitución de productos que den como resultado desechos con menos toxicidad. Por ejemplo, inhibidores de corrosión, coagulantes, limpiadores, solventes, dispersantes, viscosificantes y agentes densificantes, deben ser cuidadosamente seleccionados por su impacto ambiental.

El reuso puede ser otra alternativa, el regreso de materiales sin usar para que sean utilizados o reusados en otras industrias. Unos ejemplos es el uso de los desechos de recortes para la industria de la construcción y como material para pavimentar carreteras, el uso de gas que se descarga a la superficie como combustible en procesos de tratamiento de recortes, el procesamiento de; agua producida como agua para limpieza 6 generación de vapor y regresar el lodo de perforación base aceite a las plantas de tratamiento para su acondicionamiento y reuso.

Los métodos biológicos han sido utilizados con éxito por algunas compañías, sin embargo este tipo de tratamiento tiene un tiempo de proceso demasiado largo, lo que representa en ocasiones riesgos si no se maneja adecuadamente, ya que para su desarrollo se utilizan bacterias que podrían causar efectos adversos al medio ambiente donde se utilizan.

Los métodos físicos como la separación mediante lavado y centrifugación son una alternativa que podría ser implementada tanto en la misma plataforma 6 en tierra como una planta de lavado donde se tratarían los recortes de todos los pozos, sin embargo el producto final tendrá una concentración de hidrocarburos que no cumple con la normatividad para su desecho al mar, por lo que su eliminación en el mar esta limitada y su disposición en tierra deberá ser controlada eligiendo el sitio más adecuado para que no causen efectos adversos al medio ambiente. Una alternativa para la disposición final de los recortes sería como relleno para cuencas.

La inyección de recortes al mismo pozo parece una técnica adecuada, sin embargo su utilización esta limitada al tipo de plataformas utilizadas para la perforación de los pozos. En Pemex se perforan varios pozos vecinos debido a la utilización de plataformas fijas, por lo que su utilización es únicamente aplicable a los pozos exploratorios y no a los de desarrollo. La inyección de los recortes en un pozo marino centralizado en la zona de perforación tiene la desventaja de mantener una plataforma en el sitio con todos los servicios que esto implica, lo cual incrementa los costos de operación.

El confinamiento de residuos en domos salinos es una alternativa que actualmente no se ha utilizado, sin embargo se podría realizar un estudio de factibilidad para desarrollar una cavidad, ya sea en tierra o costa afuera, dado que durante la perforación de los pozos se han encontrado domos en los que se podría desarrollar un proyecto de esta naturaleza. La ventaja de este tipo de proyecto es que los residuos quedan herméticamente confinados en el domo, y no existe peligro de migración ya que la sal no reacciona con los materiales confinados y esta presenta una permeabilidad a toda prueba.

La inyección de los recortes en un pozo terrestre es la opción más adecuada tanto técnica como económicamente, ya que los residuos inyectados, quedan herméticamente confinados a un costo relativamente bajo. Esta alternativa contempla la utilización de un pozo ya perforado cerca de; área de Dos Bocas, tab.

Los métodos térmicos son una alternativa factible de implantar principalmente como planta de tratamiento en tierra, ya que normalmente se utilizan equipos voluminosos que incluyen la producción de energía térmica para la volatilización de los hidrocarburos. Con el uso de estos sistemas se obtienen concentraciones de hidrocarburos en los recortes tratados de menos de 1 % y la posibilidad de reutilizar los hidrocarburos como combustible para la producción de energía 6 reciclarlos en la preparación de lodos.

Los métodos químicos representan una opción aceptable, sin embargo algunos de estos como la solidificación y estabilización requieren de un sitio especial para la disposición de los recortes, ya que no se extrae el hidrocarburo y las condiciones climatológicas

adversas podrían provocar su liberación y causar contaminación en el en el área donde son dispuestos.

Existen métodos químicos ambientalmente recomendables, tal es el caso de la microencapsulación, ya que una vez tratado, los recortes dejan de ser residuo peligroso y puede disponerse en cualquier sitio. La estabilidad de este tratamiento esta garantizada, ya que el producto final es una celda de sílice amorfo puro, estable y no soluble, cuya estructura inmoviliza a los materiales de hidrocarburos residuales incluyendo los materiales pesados. Este tipo de material existe en estado natural, tal es el caso de la arena de TAR que se encuentra abundantemente al norte Canadá bajo condiciones estrictamente húmedas y frías, sin que se tenga conocimiento de alteraciones fisicoquímicas que propicien la liberación del hidrocarburo.

No obstante las ventajas que estos métodos de tratamiento y disposición representan, se recomienda realizar una caracterización adecuada de los recortes, incluyendo un análisis que permita conocer sus componentes y concentración, de esta manera se podrá elegir el tipo de tratamiento más recomendable.

TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS

El principal objetivo del tratamiento y disposición de un residuo, es el de minimizar la exposición de los seres humanos a dichos materiales tóxicos o peligrosos

El termino tratamiento de acuerdo al Acta de Conservación y Recuperación de los recursos, RCRA (título 40 del código de reglamentos federales, CFR, parte 260), se refiere a cualquier método, técnica o proceso (incluyendo la neutralización), que tenga como propósito cambiar las características físicas, químicas o biológicas, o la composición de cualquier residuo peligroso para neutralizarlo, recuperar energía o recursos materiales del mismo, o bien para transformarlos en otro no peligroso o menos peligroso; que sea seguro de transportar, almacenar o disponer; o de poco volumen.

Antes de la disposición final se pueden aplicar diversas metodologías, las cuales consisten básicamente en efectuar una reducción de la toxicidad, reducción de volumen, estabilización, solidificación, recuperación de energía y de recursos.

Diversas tecnologías que se aplican en el tratamiento de residuos peligrosos

Una clasificación general de las tecnologías que se aplican en el tratamiento de residuos peligrosos es:

- *Tratamientos físicos:* Son los procesos que, a través de un cambio en la concentración y/o en la fase, transforman a los constituyentes peligrosos a una forma más conveniente para un procesamiento posterior para su disposición final.
- *Tratamientos químicos:* Son los procesos en los cuales se altera la naturaleza interna de los constituyentes peligrosos por medio de reacciones químicas. En la mayoría de los casos se les quita la peligrosidad a dichos residuos, sin embargo algunas veces el (los) producto(s) resultante(s) puede(n) aun ser peligroso(s), aunque en forma mas apropiada para algún procesamiento posterior.
- *Tratamientos biológicos:* Técnicamente son tratamientos químicos, pero se clasifican por separado debido a su amplia aplicación en el tratamiento de aguas residuales.
- *Tratamientos Térmicos:* Procesos que emplean alta temperatura como el principal mecanismo para la destrucción del residuo.(Obviamente esto involucra también una reacción química).
- *Estabilización/solidificación:* Procesos en los que se reduce la peligrosidad que presenta el residuo, por medio de su estabilización y/o inmovilización, resultando una masa inerte con resistencia mecánica, la cual puede tener otra utilidad

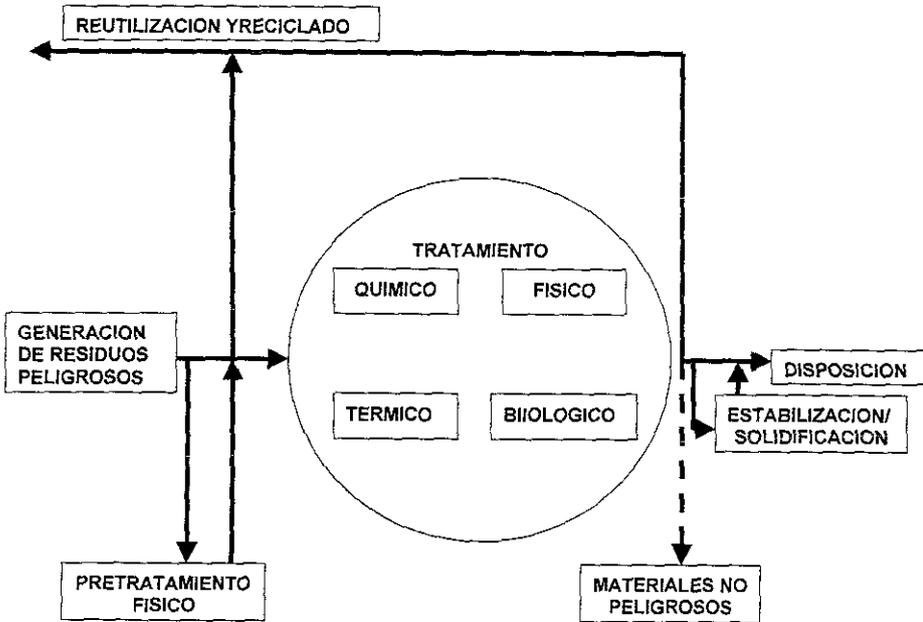
Tratamientos físicos

Son muy diversas las tecnologías de tratamiento físico para el manejo de residuos

peligrosos. Se pueden utilizar solas o junto con otros procesos (como aquellos que involucran una reacción química⁹). Esta tecnología se emplea por lo general, para reducir el volumen del material residual (al separar el residuo peligroso de las soluciones acuosas), de esta forma el residuo no se destoxifica sino que únicamente se concentra o se prepara para un tratamiento o recuperación posterior.

Las separaciones líquido – sólido incluyen dispositivos como son los estanques de sedimentación por gravedad, los calorificadores, las unidades de flotación de espuma o de gas y los filtros. En algunos casos, estos dispositivos representan fuentes de residuos peligrosos, por ejemplo el RCRA lista como tal, al lodo proveniente de la unidad de flotación de gas de una refinería de petróleo. Los lodos diluidos de este dispositivo se procesan por medio de equipo mecánico de deshidratación, como filtros vacíos, centrifugas y filtros prensa. Aun con la deshidratación mecánica, los lodos húmedos no son adecuados para disponerse en el suelo, porque contienen humedad. Por esta razón es probable que se incremente el empleo de los procesos de secado de lodos así como del requerimiento de contar con rellenos sanitarios impermeables. Frecuentemente estos procesos se utilizan para facilitar la incineración y/o las alternativas de disposición. Las operaciones de trituración y molienda tienen varias aplicaciones específicas. El otro uso principal de esta tecnología, se encuentra en aquellos casos en los que se debe reducir el tamaño de la partícula del material sólido, para lograr una adecuada reactividad física o química en las subsecuentes etapas del tratamiento.

INTERRELACIONES DE LAS ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA RESIDUOS PELIGROSOS



Por otra parte, la mayoría de los procesos de transferencia de masa tienen alguna aplicación en este campo. La destilación y la evaporación se pueden emplear para las corrientes de alimentación en dos o más fases, en las que una contenga la mayor parte del contaminante de interés. La desorción se utiliza para las corrientes contaminadas de trazas de solventes volátiles del agua subterránea contaminada. Aun cuando los sistemas de absorción no se emplean directamente en el tratamiento de residuos peligrosos, se utiliza como auxiliar en los otros sistemas de procesamiento, como es el caso de del control de las emisiones de vapor industrial.

Los sistemas de extracción por solventes líquido-líquido, sólido-líquido o con un fluido supercrítico se han promocionado para el procesamiento de residuos peligrosos. Se investigó la remoción de Bifenilos Policlorados (Polichlorinates Bipheyls, PCBs) o dioxinas del suelo por medio de este proceso, pero las dificultades del procesamiento y los altos costos, restringieron su aplicación, originando también que su uso comercial sea limitado. Finalmente los sistemas de absorción —de carbón y resinas— se está aplicando comercialmente a las corrientes residuales que contienen bajas concentraciones de constituyentes peligrosos.

Tratamientos químicos

Los métodos de tratamiento químico se emplean para facilitar la destrucción de los residuos peligrosos y más frecuentemente para modificar sus propiedades químicas (por ejemplo para reducir la solubilidad en agua o para neutralizar la acidez o alcalinidad)

Es importante recordar que el procedimiento químico no puede desaparecer mágicamente al contaminante tóxico de la matriz en la que se encuentran (agua residual, lodo, etc.), sino que únicamente puede convertirlo a otra forma. Por lo tanto, es vital asegurar los productos obtenidos en la etapa de destoxificación química constituyan un problema de tratamiento o disposición mucho menor que el que se presentaría si se partiera del residuo original. También es importante aclarar que los reactivos para tales reacciones pueden ser peligrosos.

Como en las otras tecnologías, este tipo de tratamiento se puede utilizar como un procedimiento único o se emplea con otra técnica adicional, para reducir el peligro que presenta algún residuo en particular antes de transportarlo, incinerarlo o almacenarlo.

Debido a las reacciones químicas involucran reactivos específicos que funcionan bajo condiciones especiales, estos procesos se utilizan por lo general cuando solo una sustancia o su "familia" química esta involucrada. Cuando el tratamiento químico se aplica a un residuo de composición química a un residuo de composición mixta, puede surgir interferencias como son las reacciones secundarias, impurezas, la destrucción catalítica o productos de reacción inesperados.

La neutralización es el tratamiento químico más utilizado. Se ha practicado por varios años e involucra la mezcla de dos o más productos (ácido y base) para obtener una sal neutra no peligrosa más agua. Los residuos ácidos o básicos se pueden emplear una vez que se comprueba que las impurezas no representan otros peligros.

Por lo general *la precipitación* se emplea junto con la neutralización. Por ejemplo el cobre soluble en una solución ácida se puede precipitar efectivamente mediante el ajuste del pH (ligeramente arriba del neutral). Los sulfuros se pueden utilizar para remover metales pesados, mientras la cal o cloruro de calcio se usa para remover fluoruros. Los procesos electroquímicos también se emplean para la remoción de metales de las corrientes de proceso antes de descargarlas.

Los procesos de oxidación o reducción química pueden tratar residuos peligrosos. Sin embargo, se aplican a soluciones diluidas debido a los altos costos de los reactivos químicos. Una de las desventajas es que las reacciones tienden a ser incompletas a menos que se realicen bajo condiciones controladas. Otro problema es que los productos finales de la oxidación o reducción pueden presentar situaciones peligrosas. La reacción de los fluidos de PCBs son el sodio metálico, elimina el compuesto de PCB pero deja en su lugar sal y bifenilo (un compuesto aromático de dos anillos de benceno unidos).

Tratamientos biológicos

En contraste con los compuestos naturales, los “compuestos antropogénicos” (aquellos creados por los humanos) son relativamente resistentes a la biodegradación. Una razón es que los organismos que están presentes en la naturaleza o pueden producir las enzimas necesarias para realizar la transformación del compuesto original hasta un punto en el cual, los intermediarios resultantes puedan entrar dentro de una trayectoria metabólica natural y se mineralicen completamente. Varios compuestos antropogénicos son alógenados y esto implica frecuentemente persistencia en el ambiente. La lista de los compuestos orgánicos halogenados incluye plaguicidas, plastificantes y solventes entre otros.

El tratamiento biológico esta limitado a aguas residuales que contienen compuestos orgánicos, se puede alcanzar una excelente destrucción orgánica cuando los constituyentes orgánicos peligrosos no se encuentran presentes a una concentración tóxica. Las soluciones de cianuro y fenol (abajo del límite umbral tóxico) son virtualmente destruidas en un sistema de lodos activados.

Los constituyentes orgánicos que son biodegradables en matrices de agua son fáciles de tratar. Las concentraciones de aceite, hidrocarburos clorados, y metales pesados se pueden reducir dramáticamente del influente al efluente de un sistema de tratamiento de agua por medio de la bioadsorción – la adsorción de materiales en una biomasa – dentro del lodo activado. Por esta razón se requiere de una cuidadosa planeación del procesamiento posterior así como de la disposición en rellenos sanitarios de los sedimentos de aceite proveniente de una refinería de petróleo, se ha practicado por años, y es relativamente efectiva. El bioaumento en el sitio – la inyección de bacteria dentro de suelos para el tratamiento de contaminantes – se fomenta para la limpieza de lugares de disposición de residuos peligrosos que contengan residuos orgánicos, pero aun no se comprueba la efectividad de este proceso, excepto en aplicaciones a escala de laboratorio o planta piloto. El éxito del co-tratamiento de residuo industrial y residuo domestico con la adición de nutrientes en sistemas biológicos, se debe a que es un método muy económico y efectivo.

Tratamientos térmicos

La incineración es un proceso que se basa en la oxidación térmica a altas temperaturas (800°C o mayores), para convertir a un residuo en un material

No peligroso de poco volumen. Se requiere que el residuo o por lo menos sus componentes peligrosos, sean combustibles con el objeto de ser destruidos. Los principales productos de combustión de los residuos orgánicos son el dióxido de carbono, vapor de agua y ceniza inerte. Sin embargo se pueden formar muchos otros productos

La incineración es una técnica adecuada para la disposición de residuos peligrosos que contengan compuestos orgánicos, porque se obtienen eficiencias muy altas de destrucción de la materia orgánica. Cualquier dispositivo de combustión controlada es adecuado para la tecnología, siempre que satisfagan los requerimientos establecidos en la reglamentación. Tienen diferentes tamaños, que van de una simple unidad de inyección líquida hasta un

incinerados de un navío trasatlántico. El horno rotatorio de cocción se adoptó como un dispositivo de combustión común, para los residuos peligrosos "genéricos" del RCRA (sólidos, residuos machacados, lodos, líquidos, suspensiones, pastas, etc.), debido a sus altas temperaturas y sus grandes tiempos de residencia.

El método de tratamiento se puede ver influenciado por la necesidad de cumplir con los requerimientos legales, entre los que se encuentran la destrucción mínima, las eficiencias de remoción y destrucción (Destruction and Removal Efficiency, DRE) los niveles reglamentarios de contaminantes en el aire, el control de los gases ácidos, y el grado de peligro que presentan las cenizas de los metales tóxicos.

Para los residuos orgánicos en fase acuosa o solución, se puede utilizar una oxidación con aire húmedo. La aplicación general del proceso, está restringida, entre otras razones, por los elevados costos, por las presiones y temperaturas normales de operación, porque la destrucción orgánica que se obtiene es de 85% a 95% y además está limitada a soluciones acuosas con menos del 5% de materiales orgánicos.

TECNOLOGIAS DE ESTABILIZACION/SOLIDIFICACION

Por su composición elemental, varios residuos, como el níquel, no se pueden destruir o cambiar por medios físicos o químicos. Por lo que una vez que se ha separado de la solución acuosa y concentrado en cenizas o lodo, los constituyentes peligrosos se deben confinar en compuestos estables que cumplan con las restricciones establecidas en la reglamentación para la disposición en el suelo.

Se investigan los procesos de estabilización y solidificación para la contención de materiales residuales que alguna vez se colocaron directamente en relleno sanitario, residuos líquidos semilíquido o residuos sólidos que puedan lixiviar. Gran parte de esta tecnología es relativamente nueva, excepto para algunas aplicaciones en la industria de disposición del residuo nuclear.

El proceso de solidificación convierte al residuo -líquido o semilíquido- en otra forma física que se pueda manejar, almacenar y disponer de una manera más segura y conveniente. De esta manera, se reduce también el volumen del residuo al remover a los líquidos presentes. Existe una gran variedad de materiales de solidificación y de técnicas disponibles. En todos los casos, el método de solidificación no debe ser un proceso reversible que pueda permitir que el sólido se convierta en líquido nuevamente. Una de las consideraciones más importantes para evaluar el método de solidificación, es medir la cantidad de lixiviado que produce la matriz sólida, lo cual también determinará el grado de tratamiento, contención y vigilancia que se requiera.

El proceso de fijación más simple es la absorción, el que como su nombre lo indica, absorbe el líquido libre que contiene metales peligrosos disueltos hasta obtener un producto final seco. Algunos medios de sorción típicos son. Ceniza muy fina, caí, arcilla, vermiculita y zeolita.

Redujera la posibilidad de exposición a la radiación.
Fuera fácil de producir y barato.

Se cumplió con los requerimientos anteriores, por medio de sistemas que emplean mezclas de cemento, material bituminoso, resinas de urea-formaldehído o vidrio. Muchos de los procedimientos para evaluar las técnicas de contención de residuos radioactivos, se pueden utilizar para probar los procesos de fijación de lodo industrial.

La solidificación de residuo industrial difiere de la contención de residuo radioactivo, en que frecuentemente los procesos industriales producen volúmenes muy grandes de residuo que presenta una toxicidad relativamente baja. Resultaría innecesario y antieconómico aplicar a estos residuos las rigurosas propuestas para la contención de residuo nuclear.

Específicamente, los procesos de solidificación aseguran mecánicamente a los contaminantes dentro de una matriz sólida (un bloque monolítico de residuo con una alta integridad estructural). La estabilización, por otro lado, involucra la adición de materiales que limita la solubilidad o la movilidad de los constituyentes del residuo, aun cuando las características físicas de manejo del residuo no se mejoren. Su intervalo de aplicación varía ampliamente desde residuos de sulfato/sulfito hasta metales y solventes, dependiendo de la metodología particular que se utilice. La USEPA está actualmente evaluando nuevas técnicas de estabilización/solidificación.

Los residuos de baja toxicidad (lodos de sulfato de calcio o hidróxido de aluminio entre otros) se solidifican por lo general, por medio de la adición de material puzolánico

La solidificación indica la producción de un bloque monolítico de residuo tratado con alta integridad estructural. La estabilización describe procesos que limitan la solubilidad o detoxifica al contaminante, las características físicas se pueden o no mejorar o cambiar. El término fijación se utiliza para referirse indistintamente a la solidificación o estabilización. La encapsulación superficial se define como una técnica que aísla el residuo mediante la colocación de una chaqueta o membrana de material impermeable entre el residuo y el ambiente.

Es importante definir el significado de los diferentes términos para obtener una mejor comprensión de esta tecnología.

Solidificación. Indica la producción de una masa monolítica sólida, con suficiente integridad estructural como para transportarse en piezas de tamaño adecuado sin requerir de algún contenedor secundario.

Estabilización. Se refiere a un proceso por el cual el residuo se convierte en una forma más estable químicamente. El término incluye la solidificación, pero también involucra una reacción química para transformar a un componente tóxico en una nueva sustancia o compuesto no tóxico. No se consideran los procesos biológicos.

Estabilización Química. Por medio de una reacción química, se inmovilizan las sustancias tóxicas al formar compuestos insolubles dentro de una estructura cristalina estable.

Estabilización física Sugiere mezclar lodo o residuos semilíquido con un agente

Entre los sorbentes más sofisticados que también involucran reacciones puzolánicas (endurecimiento acuoso), se encuentra la cal-ceniza muy fina y el cemento portland. Los sistemas de puzolana/cemento portland se comienzan a utilizar en residuos nucleares e industriales. Algunas veces se necesita modificar esta tecnología ya que algunos materiales inhiben la acción del aglutinante. Este problema se resuelve adicionando silicatos solubles, arcillas seleccionadas, sustancias emulsivas o surfactantes..

La selección de los materiales sorbentes involucra entre otros factores a los efectos químicos, costos y cantidades producidas para producir un producto sólido adecuado para la disposición en el suelo. El criterio de selección incluye el pH del residuo la cantidad de sorbente necesario para eliminar todos los líquidos solubles, la compatibilidad o reactividad del residuo y sorbente, el nivel y el carácter de la contaminación que se introduzca en el sorbente y las propiedades del aglutinante químico para algunos contaminantes específicos.

Varios materiales inmovilizan a los residuos peligrosos por medio de la encapsulación en lugar de la sorción o reacción química. Los polímeros orgánicos, agentes vítreos (como el vidrio) y asfalto son ejemplos de dichos materiales.

Existen también agentes patentados inorgánicos/orgánicos y orgánicos que se venden para los procesos de estabilización y solidificación. En estos casos, se requiere equipo mecánico especializado para el proceso de encapsulación, con el fin de asegurar un mezclado completo antes del endurecimiento del producto final. Estos costos se deben considerar junto con los costos de los reactivos.

En la selección del material estabilizante y del equipo de mezclado, la principal consideración es la compatibilidad del residuo y de la matriz (el material de sorción o de encapsulación).

El problema más serio de estos procesos es la incertidumbre acerca de su efectividad a largo plazo. Con base en la experiencia e inferencia sobre el carácter químico, los agentes inorgánicos parecen ser más confiables que los orgánicos. El principal inconveniente es la biodegradación y la lixiviación de los constituyentes peligrosos dentro del agua subterránea.

Antecedentes

Muchas de las propuestas empleadas en la estabilización y solidificación de residuos industriales, se originaron en el área de manejo de residuos radioactivo. La principal razón d estabilizarlos, fue la necesidad de producir un material sólido que cumpliera con los requerimientos del Departamento de Transporte (Department of Transportation, DOT) de estados unidos de Norteamérica, de que se conviertan a una forma sólida antes de embarcarse. Por lo que, se trabajo en desarrollar materiales sólidos que fueran apropiados para la contención de residuos radioactivos a largo plazo. Los procesos resultantes se diseñaron para producir un material que cumpliera con los siguientes objetivos.

Cubriera los residuos en una forma tal, que no se presentaran escurrimientos.
No degradable.

aglutinante, como ceniza muy fina pulverizada (Pulverized Fly Ash, PFA), con el fin de producir sólidos de granulación gruesa, de consistencia parecida al suelo, los cuales puedan transportarse fácilmente por medio de un camión o furgón hasta el sitio de disposición. El principal objetivo de un mezclado íntegro es la producción de un producto residual seco, que se pueda transportar con propiedades ambientalmente aceptables.

Encapsulación. Es el proceso que se involucra el completo revestimiento o circamiento de partículas tóxicas o del residuo aglomerado con una nueva sustancia, por ejemplo, el agente aglutinante o aditivo para la estabilización/solidificación. La microencapsulación es la encapsulación de partículas individuales. La macroencapsulación es la encapsulación de una aglomeración de partículas de residuo o materiales microencapsulados.

Clasificación de los procesos de estabilización/solidificación

Las tecnologías de estabilización y solidificación se clasifican de acuerdo a:

- El agente aglutinante
- El mecanismo de contención o aglutinación del contaminante
- Tipos de procesos

A continuación se explican brevemente cada uno de ellos.

El agente aglutinante

Los sistemas de aglutinación se subdividen a su vez en dos amplias categorías: orgánicos e inorgánicos. La mayoría de los sistemas de aglutinación INORGÁNICOS que se emplean incluyen varias combinaciones de cementos hidráulicos, cal, puzolanas, yeso y silicatos. Los aglutinantes ORGÁNICOS que se utilizan son époxiidos, poliéster, asfalto, poliolefinas (principalmente polietileno y polietileno-butadieno) y urea-formaldehído. También se usan combinaciones de ambas categorías, entre las que se encuentran la tierra diatomácea con cemento y poliestireno; poliuretano y cemento; geles de polímero con silicato y cemento con cal.

El conocimiento que se tenga de estos agentes aglutinantes es un factor importante para la evaluación y selección de una tecnología. De esta manera se obtiene información sobre los requerimientos del proceso, el pretratamiento del residuo, las interacciones de residuo-aglutinante y acerca del comportamiento de los productos esperados.

Mecanismos de contención o aglutinación del contaminante

Los sistemas de estabilización y solidificación también se pueden clasificar o identificar de acuerdo al mecanismo de contención del residuo o por el tipo de reacción.

- Sorción

La sorción involucra adicionar a un sólido que se apodera de cualquier líquido libre en el residuo. Por ejemplo: carbón activado, silicato de sodio anhídrido, yeso, arcillas y

materiales particulados similares. La mayoría de los procesos de sorción tan solo retienen el líquido sobre la superficie del sólido (similar a una esponja que absorbe agua), y no reduce la posibilidad de que el contaminante lixivie. La sorción se utiliza para remover el líquido libre del residuo con objeto de satisfacer los requerimientos de que no se dispongan líquidos en rellenos sanitarios.

▢ Reacciones puzolanicas

Este proceso emplea sílice no cristalina, proveniente de la ceniza muy fina y el calcio que contiene la cal para producir una cementación de poca resistencia. El principal mecanismo de contención es atrapar físicamente al contaminante en una matriz curada de concreto-puzolana. El agua se remueve durante la hidratación del concreto cal-puzolana.

▢ Reacciones de cemento Portland-Puzolana.

En este proceso el cemento Portland se combina con ceniza muy fina y otras puzolanas, para producir una matriz de residuo-concreto que contenga una resistencia relativamente grande. La contención del residuo se realiza principalmente al atrapar físicamente las partículas de residuo. Se pueden adicionar silicatos solubles para ayudar al proceso y para auxiliar en la contención de metales por la formación de geles de silicato. El agua se remueve en la hidratación del cemento Portland.

▢ Microencapsulación termoplástica

Este proceso combina residuos particulados con asfalto derretido y/o otros materiales similares. El principal mecanismo de contención es la captura física de líquidos y sólidos.

▢ Macroencapsulación.

Este proceso asila un gran volumen de residuo al colocar sobre él una chaqueta de material inerte. Un ejemplo simple lo constituye el recubrimiento de un tambor de 55 galones, el cual contenga residuos tratados. Los procesos mas sofisticados y efectivos emplean polietileno y se investigan resinas similares.

La macroencapsulación involucra el uso de algún proceso común de estabilización y solidificación (por ejemplo: puzolánico, cal-ceniza muy fina, cemento-puzolana) para microencapsular al contaminante; para compensar la posibilidad de que no sea óptimo el aislamiento de éste, enseguida se realiza una macroencapsulación de la matriz que contiene al contaminante.

Tipos de procesos

Existen varias modalidades que se pueden considerar, cuando se requiere aplicar algún proceso de estabilización y solidificación.

▪ PROCESOS EN TAMBOR.

En este proceso, los agentes aglutinantes se adicionan a los residuos que generalmente se

contienen en tambores y/o otros contenedores. Después de mezclarse y fraguarse, la matriz de la mezcla residuo-aglutinante se deposita nuevamente dentro del tambor.

▪ **PROCESOS EN PLANTA.**

Los procesos en la planta se refieren a una planta y/o procesos específicamente diseñados para estabilizar y solidificar un gran volumen de material residual. El procesos puede realizarse dentro de una planta, considerando el manejo del residuo como una operación industrial interna o bien, la planta se puede diseñar especialmente y operar para tratar residuos provenientes de fuentes externas.

▪ **PROCESOS EN PLANTA MOVIL**

Se refiere a los procesos de estabilización y solidificación, así como al equipo, que se caracteriza por ser móvii o por instalarse y transportarse fácilmente de un lugar a otro.

▪ **PROCESO IN-SITU.**

Los procesos in-situ consisten en adicionar agentes aglutinantes directamente en el lugar en donde se encuentra el residuo, como puede ser alguna laguna o inyectar algunos materiales sobre la superficie del suelo, etc., para mover la estabilización/solidificación del lodo y/o suelo contaminado. Este tipo de proceso se puede aplicar en la restauración de suelos contaminados.

COMPONENTES DE UNA SARTA DE PERFORACION

La sarta de perforación tiene diversos propósitos dentro de los cuales se incluyen los siguientes:

- Servir como un ducto para bombear el lodo de la superficie al fondo.
- Dar el movimiento rotatorio a la barrena.
- Dar peso a la barrena.
- Sacar y meter la barrena del pozo.
- Efectuar pruebas de formación.
- Colocar tapones de cemento.
- Cementar tuberías de revestimiento.

Los componentes de una sarta de perforación son variados y tienen diferentes objetivos. A continuación se listan algunos de los componentes de una sarta del fondo a la superficie. (cabe hacer la aclaración que una sarta puede o no tener los componentes citados, todo dependerá del objetivo que se tenga en mente).

- Barrena
- Doble caja
- Amortiguados
- Lastrabarrenas
- Junta de seguridad
- Rimas
- Estabilizadores
- Martillos
- Aceleradores.
- Tubería extrapesada (Hevy Wate).
- Tubería de perforación.
- Sustituto de la flecha (Kelly).
- Flecha.
- Hules protectores.

TUBERIA DE PERFORACION

La sección mas larga de una sarta de perforación (a excepción de cuando se inicia el pozo) esta construida por tubería de perforación (T.P.). Cada tubo incluye el cuerpo del mismo y sus juntas (piñon y caja) con las que se conecta a mas tubos.

En la actualidad existen diversos tamaños y pesos de tubería de perforación y dentro de los mas comunes están los siguientes:

- 3 ½ " - 13.3 Lb/pie peso nominal
- 4 ½ " - 16.6 Lb/pie peso nominal
- 5 " - 13.3 Lb/pie peso nominal

El grado de la tubería describe la cedencia mínima del acero y están listadas en la tabla B.1

Grado designación por letra	Designación alterna	Cedencia lb/in ²
D	D-55	55.000
E	E-75	75.000
X	X-95	95.000
G	G-105	105.000
S	S-135	135.000

Tabla B1

El Instituto Americano del Petróleo (API) ha establecido diversos lineamientos para la clasificación de la tubería en función de los desgastes que presenta esta.

Esta clasificación es un factor importante para criterios de diseño y de uso, ya que el desgaste afecta las propiedades y resistencias de la tubería y las juntas, y de estas últimas se recomienda que se identifiquen como reparables en campo o en el taller dependiendo de la falla que tengan al ser inspeccionadas.

JUNTAS PARA TUBERIA DE PERFORACION

Las juntas son conectores roscados que sirven para unir tubos individuales de perforación. Los puntos más comúnmente usados son:

IEU (Internal-External Upset).

Este tipo de junta tiene un diámetro mayor que el del cuerpo del tubo y un diámetro interno menor que el del cuerpo del tubo. Por lo general es el tipo de junta con mayor resistencia.

IF (Inter Flush).

Este tipo de junta tiene un diámetro interno aproximadamente igual al del tubo y el diámetro externo mayor que el del tubo ya que es en este diámetro donde está el refuerzo.

IU (Internal Upset)

Este tipo de junta tiene un diámetro interno menor que el del tubo y un diámetro externo casi igual al del tubo.

Es importante notar que estas juntas están diseñadas para trabajar a tensión.

Ultimamente ha llegado a ser una práctica común ponerle banda dura a la caja de las juntas con objeto de reducir su desgaste cuando perforan rocas abrasivas. La banda dura está constituida por partículas de carburo de tungsteno soldadas a una matriz de metal. El problema que casi siempre se tiene con la banda dura es el desgaste interno que sufre la tubería de revestimiento.

TUBERIA EXTRAPESADA (HEVI WATE)

El uso de la tubería de perforación extrapesada es una practica ampliamente aceptada en la industria de la perforación ya que debido a su mayor espesor de pared se duplica o triplica el peso unitario del tubo. Los diámetros y pesos mas comúnmente usadas son:

DIAMETRO EXTERNO(PG)	DIAMETRO INTERNO (PG)	PESO UNITARIO(KG/M) (Lb/ft)	
3 ½	2 1/16	3.69	26
4	2 9/16	41072	28
4 ½	2 ¾	62.58	42
5	3	74.50	50

Las principales ventajas que se tienen con el uso de esta tubería son:

- 1.- se reducen los costos de perforación ya que al colocarla en la zona de transición (inmediatamente arriba de los lastrarbarrenas) virtualmente se eliminan las fallas de la tubería.
- 2.- Incrementa significativamente el comportamiento y la capacidad de los equipos pequeños perforado en áreas someras debido a su fácil manejo y a la eliminación de lastrarbarrenas.
- 3.- grandes ahorros en la perforación direccional ya que gran parte de los lastrarbarrenas es eliminada, se reduce la torsión y disminuye la tendencia al cambio de ángulo.

La mayoría de la tubería extrapesada tiene un refuerzo central que actúa como un centrados y ayuda a prevenir un desgaste excesivo cuando trabaja en compresión.

LASTRABARRENAS

Algunas funciones que tienen los lastrarbarrenas son:

- Dar peso a la barrena.
- Minimizar los problemas de estabilidad.
- Minimizar los problemas de control direccional.

Existen lastrarbarrenas de muchas formas y tamaños reales como los cuadrados, los triangulares y los ranurados en espiral. Los mas usados son los lisos y los ranurados en espiral.

Actualmente se están utilizando lastrabarreras más grandes, por ejemplo donde antes se usaban lastrabarreras de 6 ¾ " - 7 1/2 " ahora se usa de 8", lo cual trae ciertas ventajas como:

- Se requieren menos lastrabarreras para dar el mismo peso.
- Son menos conexiones.
- Menor tiempo de conexiones en los viajes.
- Se puede perforar pozos mas rectos.
- Hay mayor rigidez.

Los lastrabarreras en espiral tienen una ranura en espiral a lo largo del cuerpo de la lastrabarrena y tienen como función disminuir el área de contacto para minimizar los problemas de pegadura por presión diferencial.

MÉTODOS DE DISEÑO

METODO DE FLOTACION

El pandeo de la sarta de perforación es un problema que siempre debe evitarse, ya que de presentarse se incrementan los esfuerzos en el tubo y en las juntas y pueden fallar.

Lubinski et al. Estudiaron el pandeo de las tuberías de revestimiento, de producción y de perforación, y encontraron que el pandeo no existe si no se aplican pesos sobre barrena mayores que el peso flotado de los lastrabarreras.

El peso flotado de los lastrabarreras es la cantidad de peso que deberá ser soportado por el mástil cuando los lastrabarreras están dentro del pozo. Este peso es menor que el peso del aire. Por ejemplo, un lastrabarrena que pesa 147 lb/pie en el aire, en un lodo de 1.80 gr/cm³ pesa solo 113 lb/pie.

La formula para calcular el factor de flotación (FF) es :

$$FF = 1 - \frac{DEN}{7.86} \quad (B.1)$$

FF = Factor de Flotación, adimensional..

DEN = Densidad del lodo, gr/cm³.

7.86 = Densidad del acero, gr/cm³.

El peso disponible de la barrena (PDB) es el peso de los lastrabarreras multiplicado por el factor de flotación.

(PDB) = (peso de los lastrabarreras) X FF(B.2)
y la longitud para obtener dicho peso es calculada con:

$$L = \frac{PDB}{(FF)(PVL)} \quad (B.3)$$

donde:

L = longitud de lastrabarrenas, pies

PVL = peso unitario de los lastrabarrenas, lb/pie.

Por lo general, una vez calculado el peso flotado de lastrabarrenas se le adiciona un 15-20% mas como margen de seguridad para mantener el punto neutro en los lastrabarrenas.

Ejemplo:

Calcular el numero de lastrabarrenas necesario para dar un peso de 25 toneladas (55,000 lbs). El diámetro de los lastrabarrenas es de 82 y la densidad del lodo de 1.20 gr/cm^3 . El peso unitario de los lastrabarrenas es de 219 kg/m (147 lb/pie).

Solución:

$$FF = 1 - \frac{1.20}{7.86} = 0.85$$

$$PDB = (147)(0.85) = 125 \text{ lb/ft}$$

$$L = \frac{(1.2)(55,000)}{(147)(0.85)} = 528 \text{ pies}$$

$$\text{Numero de lastrabarrenas} = 528/30 = 17.6 = 18 \text{ Lastrabarrenas}$$

MÉTODO DE PRESION EN EL ÁREA

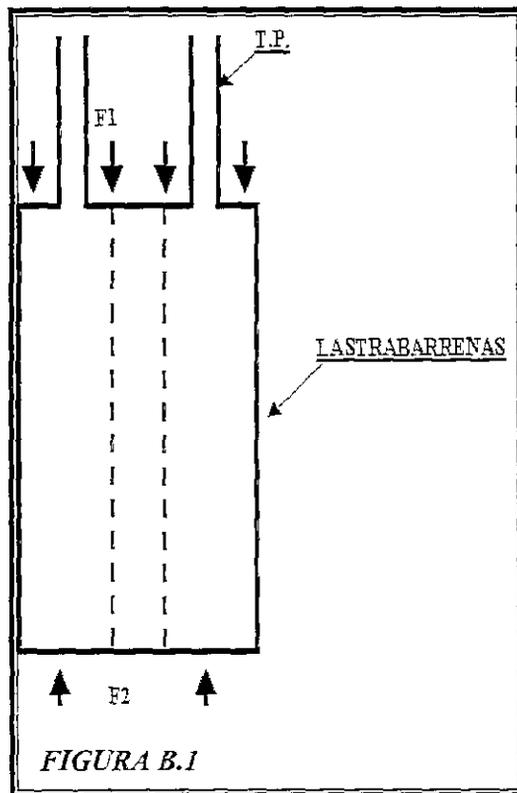
Las juntas de la tubería de perforación están diseñadas para trabajar en tensión mas nunca en compresión; siguiendo estos lineamientos muchos operadores diseñan sus sargas de perforación de tal manera que las juntas trabajen en tensión.

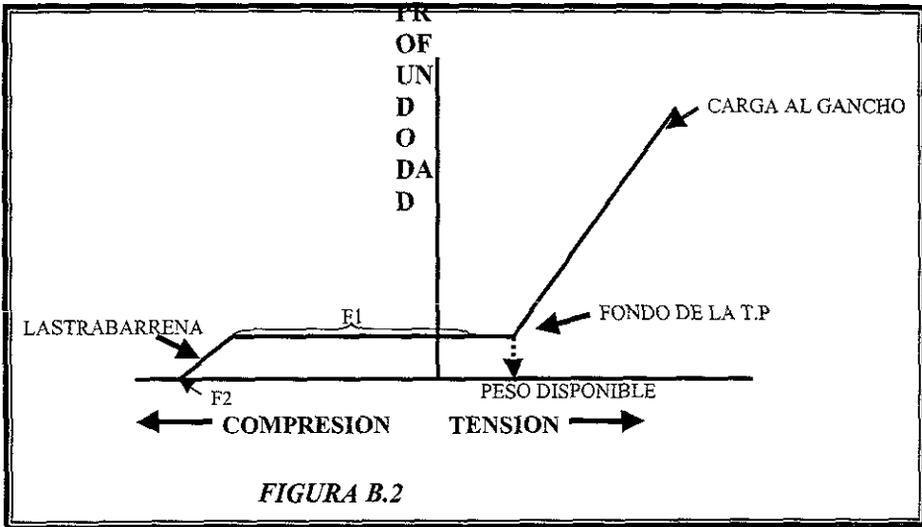
El análisis de la tensión en una sarga determina la cantidad de peso que se puede en la barrena sin que el punto neutro de la tension-compresion se recorra hacia la tubería de perforación sino que permanezcan en la sección de los lastrabarrenas. El punto neutro de tensión es aquel en donde la tensión es cero y es diferente del punto neutro de pandeo propuesto por Lubinski. Este punto neutro de tension-compresion ha creado una gran controversia dentro de la industria de la perforación ya que el método de presión en el

área el número de lastrabarrenas requerido para dar el peso necesario a la barrena es mucho mayor que con el método de del factor de flotación y se tienen las siguientes desventajas

- Hay mas riesgo de que la sarta se pegue por presión diferencial pues existe mayor área expuesta.
- Se requiere mayor tiempo para efectuar un viaje ya que se tiene que manejar mayor numero de lastrabarrenas.
- Mayor dificultad para lavar en caso de una pesca.

El análisis de tensión incluye los pesos de la tubería y los lastrabarrenas mas las fuerzas hidrostática verticales actuando sobre la tubería. Estas fuerzas verticales se calculan con la presión hidrostática que actúa en el área de la sección transversal de la parte superior e inferior de los lastrabarrenas.(figurasB.1Y B.2)





Ejemplo:

Calcular el peso disponible a la barrena por una sarta con las siguientes condiciones:

Densidad del lodo 1.40 gr/cm^3 .

Profundidad = 4,500 metros.

Lastrabarrenas:

Diámetro externo = $6 \frac{1}{2}$ ".

Diámetro interno = $2 \frac{13}{16}$ ".

Longitud = 180 metros. (590pies).

Tubería de perforación:

Diámetro externo $4 \frac{1}{2}$ ".

Diámetro interno = 3.826".

Peso = 16.6 lb/pie.

Solución.

1.- peso de los lastrabarrenas (lb/pie).

$$2.-\text{Peso (lb/ft)} = \frac{\pi(6.5)^2 - (2.81)^2}{1.178} = 92\text{lb/ pie}$$

Peso de los lastrabarreras en el aire:

$$92 \text{ Lb/pie} \times 590 \text{ pies} = 54,280 \text{ libras.}$$

3.- Factor de flotación.

$$FF = 1 - \frac{1.40}{7.86} = 0.82$$

4.-El peso disponible para la barrena según el método de flotación es:

$$54,280 \times 0.82 = 44,509 \text{ libras (compresión)}$$

5.- Fuerzas hidrostática según el método de presión en el área.

$$FF1 = -(1.40 \times 4500 \times 14.22/10)(3.1416(6.5^2 - 2.81^2)/4).$$

$$FF1 = -241,717 \text{ libras(compresión).}$$

$$FF2 = +194,143.$$

6.-El peso disponible será la resultante de las fuerzas =

$$54,280 + 194,143 - 241,717 = 6,706 \text{ libras.}$$

SELECCIÓN DE LA TUBERIA DE PERFORACION

Los criterios que controlan la selección de la tubería de perforación son el colapso, la tensión, el apiastamiento por cuñas y la severidad de la pata de perro. La tensión y el colapso se usan para seleccionar el peso, grado y juntas de la tubería. El apiastamiento por cuñas afecta el diseño a la tensión y la selección de la tubería. El análisis de la pata de perro se realiza para conocer el daño por la fatiga que resulta por la rotación en un cambio de ángulo en la pata de perro.

COLAPSO

Las pruebas de formación se efectúan para evaluar la productividad y los fluidos de una formación y es la que causa el esfuerzo al colapso mas severo en la tubería.

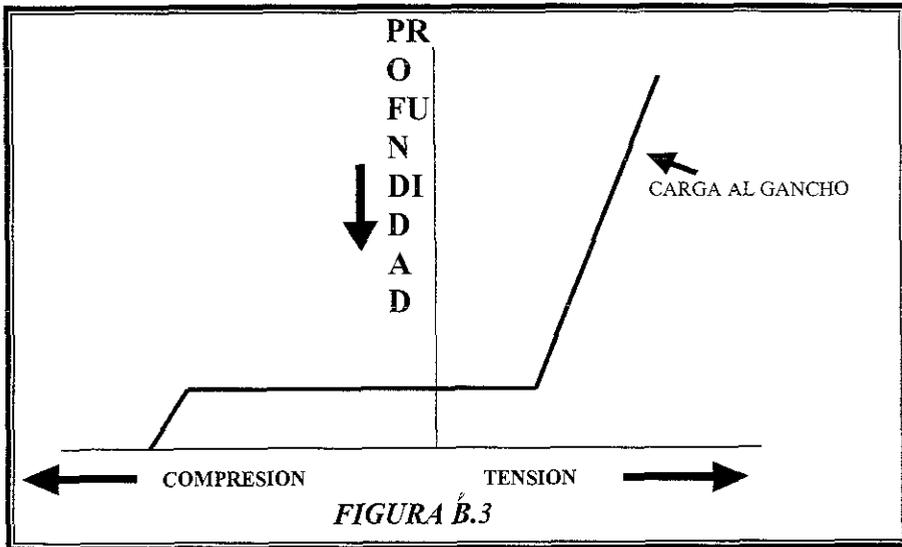
El procedimiento para efectuar una prueba de formación consiste, en general, en bajar un empacador para aislar a la formación de los fluidos que quedan en el espacio anular de la tubería de perforación, en la sarta va también una válvula de en la que permanece cerrada mientras se baja el empacador, se abre la válvula para que entren los fluidos de la formación. Después de que ha terminado la prueba, se cierra la válvula de control, se abren unos puertos de circulación y se circula en inversa.

El esfuerzo al colapso mas severo, ocurre cuando la sarta llega al fondo y la tubería esta total o parcialmente vacía. En este caso se considera que no hay contrapresión y la línea

de carga resultante será la línea de diseño (afectada por un factor de seguridad que usualmente es 1.0 a 1.15).

TENSION

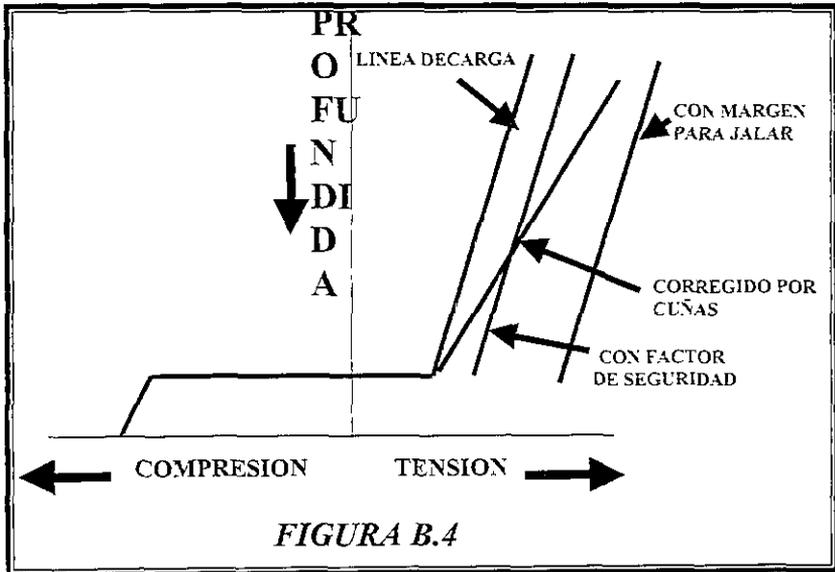
El esfuerzo por tensión puede evaluarse después de que se han establecido los pesos grados y las longitudes de las secciones para el diseño por colapso. Ya que la sarta esta diseñada con un concepto de carga máxima y por esfuerzos biaxiaies es importante que se tomen en cuenta la flotación. La figura B.3 es una típica gráfica de tensión.



La línea de diseño por tensión se establece como la carga máxima que resulta de aplicar tres diferentes consideraciones en el diseño que incluyen el margen para jalar (MOP), el factor de seguridad y el aplastamiento por cuñas. (figura B.4).

FACTOR DE SEGURIDAD.

El rango mas frecuente de factor de seguridad para diseñar la tubería por tensión varía entre 1 y 1.5 aunque generalmente se usa entre 1 y 1.3. Este factor de seguridad se usa también para tomar en cuenta las cargas por aceleración cuando se ponen las cuñas



APLASTAMIENTO POR CUÑAS.

Deberá evaluarse la máxima carga por tensión para prevenir un aplastamiento por cuñas. La siguiente fórmula permite calcular los esfuerzos actuantes en la tubería cuando está en las cuñas.

$$\frac{SH}{S_T} = \left[1 + \frac{DK}{2L_s} + \left(\frac{DK}{2L_s} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (B.4)$$

SH = Esfuerzo de aplastamiento, lb/in²

S_T = Esfuerzo por tensión lb/in²

D = Diámetro externo de la tubería, lb/in²

K = Factor de carga lateral sobre las cuñas 1/ton (y+z)

Y = Angulo de las cuñas, 9° 27' 45"

Z = Ang tan (μ).

μ = coeficiente de fricción (= 0.08).

L_s = longitud de las cuñas, usualmente 12 ó 16 in

La línea de tensión se construye con la ecuación (B.5).

$$T_s = T_L (S_h/S_t) \quad (B.5)$$

Donde:

T_s = Tensión resultante por aplastamiento de cuñas.

T_L = Línea de carga de tensión.

Con la tubería en tensión, la carga sobre ella no deberá exceder el 90% de la Cedencia del tubo para evitar generar una deformación permanente.

Ta= tensión aplicada, Lb.

Ty = Cedencia del tubo, Lb.

Ejemplo:

Determinar el grado de tubería requerido para las siguientes condiciones.
Usar tubería nueva de un solo grado de peso.

Profundidad = 3,500 metros.

Presión superficial máxima anticipada = 5,000 Lb/in².

Tubería de perforación = 4 1/2".

Lastrabarrenas: Diámetro externo = 7"

Diámetro interno = 3"

Peso = 107 Lb/pie, longitud = 150 m.

Factores de diseño:

Tensión = 1.3

Colapso = 1.3

Presión interna = 1.3

Margen para jalar = 100,000 libras.

Densidad del lodo = 1.5 gr/cm³

Zona a probar a = 3,200 metros.

Longitud de las cuñas = 16 in

Solución:

1.- construir la línea de colapso. El máximo colapso estará en el fondo:
 $1.5 \times 3200/10 = 525 \text{ kg/cm}^2 = 7,465 \text{ lb/in}^2$.

2.- la línea de diseño es el producto de la línea de carga por el factor de seguridad, 1.3 (figura 8.5).
 $7,645 \times 1.3 = 9,704 \text{ lb/in}^2$.

3.- Se selecciona la tubería °E, 16.6 lb/pie cuya resistencia al colapso es de 10,390 lb/in².

4.- Se calculan las líneas de diseño por presión interior (figura B.6).

5.- De la figura B.6 se ve que la tubería °E, 16.6 lb/in², resiste adecuadamente la presión interior.

6.- La línea de esfuerzo por tensión esta en la figura B.7. La fuerza de flotación F1 en el fondo de los lastrabarrenas es:

$$F1 = -1.5 \times 3500 \times 14022/10 \frac{\pi}{10} (7^2 - 3^2)$$

F1 = - 234,536 lb. (Compresión).

La fuerza F2 en la cima de los lastrabarrenas:

$$F2 = 1.50 \times 3350 \times 14.22/10 \left[\frac{\pi}{4} (7^2 - 4.5^2) \right] + \left[\frac{\pi}{4} (3.826^2 - 3^2) \right]$$

F2 = 192,990 lb.

El peso de los lastrabarrenas es:

$$107 \times 150 \times 3.28 = 52.644 \text{ lb.}$$

El peso de la tubería (con coples) es:

$$16.8 \times 3350 \times 3.28 = 184,598 \text{ lb.}$$

7.- Las líneas de diseño con factor de seguridad y con margen para jalar se muestran en la figura 8.8.

8.- Aplastamiento por cuñas.

$$\frac{SH}{ST} = \left[1 + \frac{4.5 \times 4}{2 \times 16} + \left(\frac{4.5 \times 4}{2 \times 16} \right)^2 \right]^{1/2} = 1.473$$

Ts = TL (SH/ST)

$$Ts = 195,696(1.473) = 288.260 \text{ lb.}$$

9.- Máxima tensión aplicable.

$$Ta = 0.9(366,652)$$

$$Ta = 329,986 \text{ lb.}$$

10.- Factor de seguridad a la tensión.

$$FST = \frac{329,986 \text{ Lb}}{195,696} = 1.68$$

INSPECCION DE LA SARTA DE PERFORACION

La sarta de perforación esta sujeta a diversos y severos esfuerzos que hacen que esta sufra desgaste y fatiga, cuando una sarta ha sufrido desgaste y fatiga sus resistencias a los esfuerzos a los que se somete se disminuyen y de no cuantificar esta disminución pueden ocurrir graves problemas de pesca. Por lo anterior es sumamente importante que las sargas sean inspeccionadas con objeto de: a) Cuantificar el desgaste del cuerpo del tubo y determinar que clase es, 2) Ver si existen fracturas en el tubo, 3) Determinar la condición de las rocas y los sellos y 4) Enderezar el tubo si esta chueco.

Existen compañías especializadas que llevan acabo este tipo de inspecciones y deben entregar un reporte de los tubos inspeccionados el cual debe estar siempre disponible en el equipo de perforación.

REGISTRO DE LA TUBERIA DE PERFORACION

Es muy importante que se lleve un registro de la tubería de perforación donde se incluyan los metros perforados, las tensiones y torsiones que se ha sometido en el caso de que se haya trabajado en una pesca, la magnitud de las patas de perro y tiempo que estuvo sujeta a ellas y el número acumulado de vueltas; lo anterior es con objeto de hacer un adecuado programa de inspección de la sarta.

BIBLIOGRAFIA

1. DRILL CUTTINGS REINJECTION FOR HEIDRUN: A STUDY H. R. Crawford
1993
2. NEW OIL-BASED DRILLING FLUID REDUCES OIL ON CUTTINGS D.J. Oakley
1993
3. SUBSEA CUTTINGS INJECTION GUIDE BASE TRIAL G. C. Ferguson 1993
4. GUIDELINES FOR DESIGNING SAFE ENVIRONMENTALLY ACCEPTABLE
Downhole E.E. Andersen 1993,
5. NEW CRILLING ADDITIVE TOXICITY DATA DEVELOPED Arthur J. J. Leuterman
Julio 1989
6. AN IMPROVED METHOD FOR GRINDING AND REINJECTING OF DRILL
CUTTINGS Gunnar, Sirevag 1993
7. IMPROVE YOUR SOLIDS CONTROL M.S Montgomery 1993
8. CASE HISTORY. CUTTINGS REINYECTION ON THE MURDOCH DEVELOPMENT
PROYECT IN THE P.R. Schuh 1993
9. CUTTINGS PROCESSING SYSTEM BAILEY, Marshall Oct 1993.
10. TREATMENT OF HYDROCARSON- CONTAMINATED PARTICULATE MATERIALS
Gane B. Stowe Abril 1993
11. ARRANGEMENT FOR REMOVING DRILL CUTTINGS IN CONNECTION WITH WELL
DRILLING IN THE SEA Andreassen, Jens. Julio 1993
12. REMOVAL OF CONTAMINANTS ATKINS, Martin August 1992
13. STRICTER MARINE POLLUTION STANDARDS ACCELERATE MOVE TO ZERO
DISCHARGE RIGS Jhon A. . Thorson Dec 1991.
14. RESOLVONG THE PROBLEMS OF ENVIRONMENTAL DAMAGE FROM FLUID
DISCHARGE REG MINTON PREVENTING OIL DISCHARGES FROM DRILLING-
OPERATIONS - THE OPTIONS R C Minton
15. THE PHYSICAL AND BIOLOGICAL IMPACT OF PROCESSED OILY DRILL
CUTTINGS - E&P FORUM R. C. Minton
16. TANQUES DE SEDIMENTACIÓN (HOJAS SUELTAS)

-
17. MINIMIZATION AND RECYCLING OF DRILL SCHUMACHER CUTTINGS FOR THE
J. P. Sept 1990.
 18. DOWNHOLE INJECTION OF OBM CUTTINGS ECONOMICAL IN NORTH SEA R. C.
Minton May 1994.
 19. SUBSEA CUTTINGS INJECTION GUIDE BASE TRIAL G. C. Ferguson Sept 1993.
 20. OILY CUTTINGS CLEANING SYSTEM READY FOR ONSHORE TESTING R. C.
Minton Nov 1991.
 21. WELL ANNULUS DISPOSAL OF DRILLING WASTE. Clark Mccaskill.
 22. MICROBIOLOGICAL DECONTAMINATION OF OIL- BASED MUD- CONTAMINATED
DRILLED R. C. Minton Nov 1991.
 23. COST EFFECTIVE TREATMENT OF OILY MUD CUTTINGS R. C. Minton
 24. DRY DRILLING LOCATION AN ULTIMATE SOURCE REDUCTION CHALLENGE.
THEORY, DESIGN, And A. K. Wojtanowicz March 1993.
 25. ON-SITE MONITORING OF DRILLING FLUIDS TOXICITY S. J. Hoskin March
1993.
 26. MINIMIZED HAULOFF WHILE DRILLING IN A ZERO DISCHARGE AREA J.M.
Sanders Oct 1989.
 27. THE DEPOSITION OF DRILL CUTTINGS ON THE SEABED K. Mofarlane Nov 1991.
 28. CUTTINGS AND WASTE MUD DISPOSAL K.M. Arnhus March 1991.
 29. INTRODUCTION OF SUBSEA . CUTTINGS DISPOSAL SYSTEM FOR DRILLING OF
RISERLESS TOPHOLE S. Tungesvik Oct 1989
 30. SOLVING FLUID BIODEGRADATION IN SEABED DRILL CUTTINGS PILE J.
Steber Sep 1994
 31. AN OVERVIEW OF TRATMENT FOR REDUCTION OF HYDROCARBON LEVELS
IN DRILL CUTTINGS Dennis Ruddy Dominick D. Ruggiero
 32. OIL BASED CUTTING STABILISATION J. Kirsner 1993
 33. CUTTINGS DISPOSAL SYSTEN Stanley Hosie Mar 1993
 34. EARTH DRILLINNG CUTTINGS PROCESSING SYSTEM Mark L. Prestridge Sep
1992

-
35. METHOD OF REDUCING THE OIL CONTENT OF CUTTINGS AND APPARATUS FOR THE APLICATION OF SAID Tom Van Dijk D. Heerhugowaar Jul 1 990
 36. COMPARISON OF CUTTING TRANSPORT IN DIRECTIONAL DRILLING USING LOW-TOXICITY INVERT Geir Hareland Rampersad Abril 1993 P R.
 37. EXPLORATION LAND PRODUCTION WASTE MANAGEMENT GUIDELINES FROM TRE E&P FORUM C.K. Owens Enero 1994
 38. CATIONIC POLYMER DRILLING FLUID CAN SOMETIMES REPLACE OBM Thomas W. Mayo 1992 Beihoffer
 39. BIODEGRADATION AND DRILLING FLUID CHEMICALS R.G. Bland Enero 1993
 40. RECENT IMPROVEMENTS IN STATE REGULATORY PROGRAMS AND COMPLIANCE PRACTICES G.E Smith W.R. Smith Marzo 1993
 41. FRACTURE MECHANICS ISSUES RELATING CUTTINGS RE-INJECTION TO AL SHALLOW DEPTH S.M. Willson Martyn Rylance Enero 1993
 42. DISPOSAL OF OILY CUTTINGS BY DOWHOLE PERIODIC FRACTURING INYECTIONS IN VALHALL Z.A. Moschovidis Febrero 1993
 43. HOLE CLEANING CAPABILITIES OIL-BASED DRILLING FLUIDS: A COMPARATIVE Terry Hemphill T.I. Larsen 1993 .
 44. DRILLING WASTE CONTROLS J.T. Cline Enero 1994
 45. LEY GENERAL DEL MEDIO AMBIENTE SEMARNAP