

300618

7  
2g



# UNIVERSIDAD LA SALLE

Escuela de Química  
Incorporada a la U.N.A.M.

## “LA PROBLEMATICA DE LOS LODOS ACEITOSOS EN LA INDUSTRIA PE- TROLERA MEXICANA Y SUS POSIBLES SOLUCIONES”

### Tesis Profesional

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUIMICO

P r e s e n t a :

**María de Lourdes Muñoz Pardiñas**

México, D. F.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1987



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## INDICE

PAGINA

I.- Introducción .....	2
II.- Objetivo .....	3
III.- Generalidades y teoría .....	3
III.1.- Clasificación de los aceites crudos en México.....	3
III.2.- Caracterización de los lodos aceitosos.....	8
III.2.1.- Causas de la formación del lodo aceitoso.....	9
III.2.2.- Tipos de lodos aceitosos.....	9
III.2.3.- Composición de los lodos aceitosos y parámetros que permiten evaluarlos.....	12
III.3.- Teoría de emulsiones.....	14
III.3.1.- Tratamiento de emulsiones.....	18
a) Adición química (desemulsificantes).....	18
b) Agitación.....	21
c) Temperatura.....	21
d) Electricidad.....	22
e) Asentamiento.....	24
III.4.- Teoría de cristalización de parafinas.....	25
III.4.1.- Clases de parafinas.....	26
III.4.2.- Factores que favorecen la formación de depósitos parafinosos.....	26
III.5.- Equipos afectados por los lodos aceitosos.....	28
V.- Métodos de control .....	29
V.1.- Métodos correctivos.....	29
V.1.1.- Métodos térmicos.....	29
V.1.2.- Métodos mecánicos.....	29
V.1.3.- Solubilización con solventes.....	30
V.1.4.- Utilización de reactivos químicos.....	31

V.2.- Métodos preventivos.....	36
V.2.1.- Métodos físicos.....	36
V.2.2.- Métodos químicos.....	36
VI.- Desarrollo experimental.....	37
VI.1.- Efecto del tiempo de reposo en la formación del lodo....	37
VI.2.- Pruebas de solubilización del lodo .....	38
VI.3.- Aplicación de aditivos químicos .....	41
VI.3.1.- Efecto de los aditivos químicos sobre parafinas y asfaltenos .....	41
a) Modificación del cristal de parafina.....	41
b) Grado de depositación de parafinas.....	43
c) Dispersión de los asfaltenos del crudo.....	45
VI.3.2.- Dispersión del lodo aceitoso.....	47
VI.4.- Métodos analíticos utilizados en la experimentación....	49
VI.5.- Análisis de resultados.....	51
VI.6.- Simulación del proceso normal de un tanque de almacenamiento de aceite crudo.....	52
VII.- Conclusiones.....	55
Anexo A.....	56
Anexo B.....	63
Anexo C.....	71
Bibliografía .....	73

## I.- INTRODUCCION

La formación de lodos aceitosos representa un problema real muy grave dentro de la industria petrolera. Sus alcances pueden abarcar desde el taponamiento de tuberías y bajas en la capacidad de producción de tanques de almacenamiento; hasta el grave problema de la afección del medio ambiente.

"....este lodo que flota en el agua, ha invadido las playas y pone en peligro la vida animal de esta costa."

Septiembre 8, 1979  
Arq. Ramírez Chávez  
Pozo Ixtoc.

"..... esta petición obedece a encontrar una solución adecuada a casi 6 millones de barriles de lodo aceitoso que se encuentran regados en el rancho El Zapote. "

Octubre 10, 1972  
Petición del  
Ing. Campos para  
aprovechar el lodo  
tirado.

Encabezados de este tipo han sido comunes a lo largo de la explotación petrolera en México, pero hasta últimas fechas se ha empezado a tomar consciencia del problema.

El descuido, la falta de conocimiento y muchas otras causas han provocado que actualmente se tengan tan solo en tanques de almacenamiento casi 200 000 barriles de sedimento que no solamente están sin uso, sino que reducen la capacidad de almacenamiento total de crudo en un 15% aprox. en todas las refinerías del país.

Respecto a lagunas, se mencionarán solamente Pajaritos y la presa El Caracol en Salina Cruz, Oax., con cientos de millones de barriles de lodo.

Los problemas surgen en muchas partes. Por ejemplo en la unidad petroquímica La Venta, el pantano llegó a tener muchas hectáreas de extensión inundadas de lodo aceitoso; lo mismo que en Santa Alejandrina en la Refinería de Minatitlán.

En la zona norte, mermas causadas por este material aún persisten y se pueden encontrar grandes hectáreas muertas por completo.

Lo importante es que ya se tiene consciencia del problema y se está trabajando sobre el mismo para resolverlo.

## II.- OBJETIVO

El propósito de esta tesis es hacer un estudio de las causas que forman estos lodos, analizar los procedimientos convencionales que se utilizan para tratarlo; en base a este estudio, proponer soluciones que permitan atacar el problema y aprovechar el material valioso que se obtenga.

También se propone la posibilidad de inhibir la formación de estos lodos.

Actualmente en México, no se han dado soluciones a este problema, solamente se va postergando, hasta que el problema se hace crítico y entonces se tiene que gastar millones de pesos para solucionarlo.

Con esta tesis se demuestra que si existe solución a este problema y que se puede prevenir.

En síntesis, los objetivos que se pretenden son:

- 1.- Hacer un estudio bien fundamentado sobre las causas del problema de depositación de lodo aceitoso.
- 2.- Analizar los métodos que se han utilizado en los últimos años para controlar y solucionar el problema de lodos aceitosos.
- 3.- Proporcionar soluciones efectivas al problema de lodos aceitosos tanto para controlar el problema, como para prevenir formaciones futuras.

### III.- GENERALIDADES Y TEORIA

#### III.1.- CLASIFICACION DE LOS ACEITES CRUDOS EN MEXICO

Una de las clasificaciones que se utiliza, establecida por Smith (1927), se basa en la destilación y las gravedades específicas de dos fracciones claves de la destilación.

#### GRAVEDAD ESPECIFICA

FRACCION CLAVE I 250-275 G.C. (PRES. ATM.)	BASE	FRACCION CLAVE II 275-300 G.C. (40 mm HG)	BASE
< 0.8521	PARAFINICO	< 0.8762	PARAFINICO
0.8521 A 0.8597	INTERMEDIO	0.8767 A 0.9334	INTERMEDIO
> 0.8602	NAFTENICO	> 0.9340	NAFTENICO

Una nueva clasificación se basa, principalmente en el contenido de los diversos tipos estructurales de hidrocarburos: alcanos, cicloalcanos, y aromáticos, mas compuestos de N,S,O (resinas y asfaltenos). También considera el contenido de azufre.

De acuerdo a esto, los aceites crudos pueden clasificarse en:

A) Parafinicos o nafténicos.- si el contenido total de hidrocarburos saturados es mayor de 50%. Se dividen en parafinicos, parafinico-nafténicos y nafténicos.

b) Aromáticos.- cuando el contenido total de hidrocarburos saturados es menor de 50 %, es decir, el contenido total de aromáticos, resinas y asfaltenos es mayor de 50%. Se divide en intermedios aromáticos; con mas de 10% de alcanos, y aceites degradados con menos de 10%; y esta última se divide en:

- \* aromáticos-asfálticos= con menos de 25% de naftenos. alto contenido de azufre.
- \* aromáticos-nafténicos= con mas de 25% de naftenos. Menos de 1% de azufre.

Los aceites de bajo contenido de azufre pertenecen en su mayor parte a la clase parafinica, parafinica-nafténica o nafténica. Los aceites de alto contenido de azufre pertenecen a la clase intermedia aromática y a la clase aromática-asfáltica.

- 1.- La clase parafinica esta constituida por los aceites crudos ligeros, siendo algunos fluidos y otros de alto contenido de cera o alto punto de escurrimiento. La viscosidad de estos aceites de alto punto de escurrimiento a la temperatura ambiente es alta debido al alto contenido de alcanos normales (C 20). A temperaturas ligeramente mayores (35-50 GR.CENT.) sin embargo, la viscosidad se vuelve normal. Su gravedad especifica, por lo general es menor de 0.85. La cantidad de resinas mas asfaltenos es menor de 10%. El contenido de azufre es bajo.
- 2.- La clase parafinico-nafténico tiene un contenido moderado de resinas mas asfaltenos (normalmente 5 al 15%) y un bajo contenido de azufre ( aprox. 1%). Los aromáticos equivalen a 25-40% de los hidrocarburos. La densidad y viscosidad son normalmente mas alta que en la clase parafinica, pero siguen moderados.
3. - La clase nafténica solamente existen muy pocos aceites crudos dentro de esta clase. Esta clase incluyen aceites degradados que generalmente contienen menos de 20% de alcanos normales e iso-alcanos, se originan de la alteración bioquímica de los aceites parafinico o parafinico-nafténico y por lo general tienen un bajo contenido de azufre, aun cuando se encuentran degradados.
- 4.- La clase intermedia-aromática consiste de los aceites crudos que a menudo son pesados. Las resinas y asfaltenos equivalen a casi 10-30% y algunas veces mas, siendo el contenido de azufre superior a 1%. Los aromáticos equivalen a 40-70% de los hidrocarburos. La gravedad especifica normalmente es alta; mas de 0.85.
- 5.- Las clases aromática-nafténica y aromática-asfáltica estan representadas por los aceites crudos alterados. Durante la biodegradación los alcanos son los primeros que se eliminan del aceite crudo. Estos aceites son pesados y viscosos, habiendo resultado originalmente de la degradación de los aceites parafinicos, parafinico-nafténico o intermedio aromáticos. El contenido de resinas mas asfaltenos normalmente es superior a 25% y puede alcanzar 60%. Sin embargo el contenido relativo de resinas y asfaltenos, asi como la cantidad de azufre pueden variar de acuerdo con el aceite crudo original.



La evolución y alteración modifican la composición de los aceites crudos y consecuentemente pueden cambiar progresivamente su clasificación. La evolución térmica queda definida por la disminución de los constituyentes aromáticos y pesados, y al aumento de las parafinas. De esta manera los aceites parafinico-nafténicos, a poca o mediana profundidad, pueden cambiar a parafinicos cuando la profundidad es grande (ver tabla I ).

TABLA I  
CARACTERIZACION DE ALGUNOS ACEITES CRUDOS EN MEXICO

	T	BC	ATZ	MAD	MIN	SAL	MAYA
PESO ESP.	0.871	0.840	0.870	0.944	0.866	0.875	0.9205
API.	30.4	31.0	30.6	25.2	31.7	28.8	21.75
VISC.							
15C	23.2	7.4	24.5	2266.2	20.6	28.0	1369.1
21C	18.5	6.6	20.0	1470.4	13.9	17.5	970.5
25C	16.0	6.0	17.4	1105.3	12.3	13.5	768.4
E	-27.0	-21.0	-45.0	-21.0	-24.0	-27.0	-33.0
H	<0.05	0.06	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.00
SW	0.10	0.2	0.2	0.35	0.15	0.25	0.05
S	102.9	102.8	94.9	4.1	10.0	7.0	1.35
ZT	2.3	1.4	2.5	4.0	2.1	1.9	3.2
P							4.16
F							----
IP	1.3	2.4	7.3	13.0	5.0	5.0	15.57
PC	19404	19633	19400	18972	19460	18500	18581
METALES							
Fe	<0.005	<0.005	<0.005	0.14	0.76	0.2	5.2
Cu	0.015	<0.015	<0.005	<0.015	<0.015	<0.015	0.6
Ni	21.5	5.0	21.0	35.0	14.9	14.0	51.4
Va	133.0	32.4	135.0	190.0	60.0	75.9	293
DH							
TIE	32	30	29	32	29	33	32
5C	72	70	60	122	70	101	91
10C	108	106	105	178	108	136	126
20C	165	143	160	260	189	195	193
30C	217	185	263	312	211	248	261
40C	268	236	265		252	300	314
50C	329	283	374		311	339	
60C		334			340		
70C							
TFEC	344	361	339	319	343	349	332

\* Nota: El significado de las letras usadas en esta tabla se muestran en el siguiente listado.

**Significado de las letras usadas en la tabla de clasificación de los aceites crudos en México**

T .- Crudo de la Refinería de Tula, Hgo.  
SC .- Crudo de la Refinería de Salina Cruz, Dax.  
ATZ.- Crudo de la Refinería de Atzacapotzalco  
MAD.- Crudo de la Refinería de Madero, Tams.  
MIN.- Crudo de la Refinería de Minatitlán, Ver.  
SAL.- Crudo de la Refinería de Salamanca, Gto.  
MAYA- Crudo Tipo Maya de Exportación

PESO ESP.- Peso específico a 20/4 GR.CENT.

A .- Grados API

V .- Viscosidad s.u.e.

E .- Temperatura de escurrimiento, GR.CENT.

H .- Agua por destilación, % en volúmen

SW .- Agua y Sedimento básico, % en volúmen

S .- Sal lb/1000 bls

ZT .- Azufre total, % en peso

P .- Parafina total, % en peso

F .- Temperatura de fusión de la parafina, GR.CENT.

IP .- Insolubles en n-pentano, % en peso

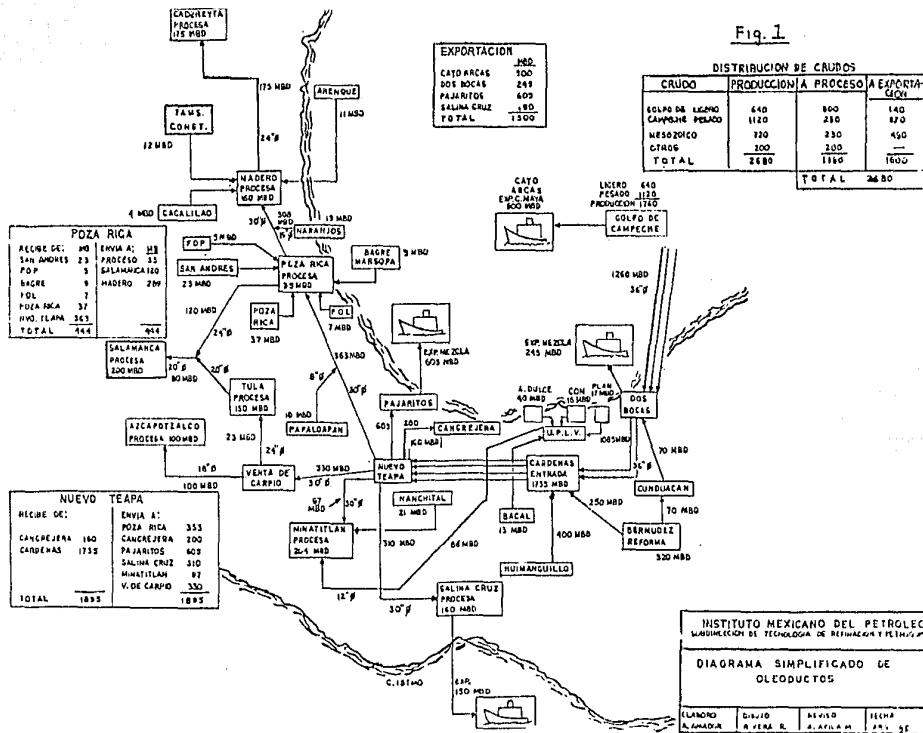
PC .- Poder calorífico, btu/lb

M .- Metales, ppm

DH .- Destilación Hempell GR.CENT.

La figura 1 que se presenta a continuación (elaborada por el Ing. Alejandro Amador del Prado, para el Instituto Mexicano del Petróleo) muestra la distribución de los oleoductos existentes en la República Mexicana, así como la cantidad de crudo que maneja cada uno.

Fig. 1



INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO  
 LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE REFINACION Y PETROLIO  
 DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE  
 OLEODUCTOS

ELANORO	SHUJO	MEXICO	TICHA
A. AMADA	A. VERA B.	A. AFAN M.	JAN. 55

### III.2.- CARACTERIZACION DE LOS LODOS ACEITOSOS

Por el término "lodos aceitosos", se designa a una materia constituida de agua, aceite y sólidos que se separan de la solución de aceite crudo y forman una masa oleosa que puede sedimentarse o puede mantenerse flotando.

El lodo aceitoso implica un problema tanto para los equipos, como por ejemplo los tanques de almacenamiento o desaladoras, así como para el ambiente que rodea a la refinería, ya que representa una terrible contaminación a la tierra y el agua a donde lleguen a desecharse estos lodos.

Además de esto, se presenta el problema en muchos casos de que las parafinas que contiene el aceite se separan saliendo de solución y tienden a cristalizar formando masas impenetrables; dificultando aun mas el problema de los lodos, (se obstruyen descargas y ductos, se dañan las bombas, etc.)

Para el desarrollo de esta tesis se utilizaron básicamente lodos aceitosos de tanques de almacenamiento.

El lodo en el tanque de almacenamiento, causa trastornos muy graves y considerables pérdidas económicas puesto que en primer lugar, esta materia sedimentada por lo general en el fondo del tanque reduce la capacidad de almacenamiento, llega un momento en que se acumula tal cantidad de lodo que el tanque tiene que sacarse de operación e invertir mucho dinero, trabajadores y tiempo en la limpieza. Además, en el lodo queda atrapado en proporción importante crudo, por lo tanto cuando este se elimina y desecha, se pierden muchos millones de dólares. (En la actualidad, en México aun no se aplica totalmente la recuperación de crudo de los lodos).

La caracterización de los lodos aceitosos representa una parte fundamental en el desarrollo de esta tesis, puesto que es indispensable para atacar el problema, conocer su naturaleza.

Es importante considerar que los lodos aceitosos que se forman dependen de la naturaleza del aceite crudo, la cantidad de agua que lleva, resinas, asfaltenos, material inorgánico (Fe, Na, V) etc.

### III.2.1.- Causas que provocan la formación del lodo aceitoso.

Las causas que provocan que el lodo se forme y que paulatinamente se vaya acumulando, se pueden resumir en lo siguiente:

- a.- Cambios de presión y temperatura que provocan la pérdida de fracciones ligeras, lo cual rompe el equilibrio que existe en solución. Con esto, disminuye la solubilidad de los materiales y sucede la precipitación de compuestos pesados y la cristalización de las parafinas.
  
- b.- Presencia de partículas congénitas al crudo, que promueven la nucleación de la parafina, produciendo una cristalización y la formación de una masa lodosa, atrapando además agua y sólidos inorgánicos con la masa que sedimenta.

Para la caracterización de los lodos aceitosos, se dividió el estudio en los siguientes puntos:

- a) Tipos de lodos aceitosos
- b) Componentes de los lodos aceitosos y parámetros que permiten evaluarlos

### III.2.2.- Tipos de lodos aceitosos

Los lodos aceitosos presentes en las refinerías sobre los cuales se llevó a cabo este estudio, se pueden clasificar en dos tipos:

#### 1.- Lodos de superficie o flotantes

~ ~	~ Lodos Blandos
Parafínicos	
	Lodos Duros

#### 2.- Lodos de fondo

	~
Asfálticos	
~ ~	

Los lodos de fondo que fueron analizados son resultado de acumulación de material del crudo de muchos años en el fondo del tanque de almacenamiento por lo que se presenta en su composición un porcentaje muy alto de sólidos inorgánicos como resultado del acarreo de tierra y sales que lleva el crudo que llega hasta ellos.

La composición que mostraron estos dos tipos de lodo fue la siguiente:

	LODOS DE SUPERFICIE	LODOS DE FONDOS
* AGUA, % En PESO	40-60	30-60
* ACEITE, % En PESO	35-60	10-20
* INORGANICOS, % En PESO	1-3	20-60

\* Nota: Los métodos para determinar %agua, %aceite, %inorg. Se especifican en el capítulo VI.4 de esta tesis.

1.- Los lodos de superficie tienen un alto contenido de aceite, y la cantidad de sólidos inorgánicos que engloba, es baja. Estas características permiten que estos lodos floten sobre la superficie donde se formaron.

2.- Los lodos de fondos pueden ser tipo parafínico o tipo asfáltico.

2.1.- Los lodos tipo parafínico se forman principalmente de hidrocarburos saturados. Esto se puede determinar rápidamente mediante una prueba de solubilidad (método IMP-SAP-002); en la cual se toma una muestra de lodo en una pera de centrifuga (25 ml. de muestra) y se completa el volumen de la pera con n-pentano. Se centrifuga por un tiempo y a una velocidad determinada, y si el lodo se disolvió sin dejar ningún depósito en el fondo de la pera o un máximo de 2% de sedimento; entonces se considera que el lodo es tipo parafínico. La base de esta prueba, radica en que el n-pentano es un solvente parafínico (cadena saturada de 5 carbonos), que al ser común con la parafina la disolverá, sedimentando en el fondo los compuestos que no sean parafina (asfaltenos, aromáticos, polares).

Dentro del tipo de los lodos parafínicos existen los depósitos blandos y los depósitos duros.

Los depósitos blandos.- Se forman de partículas de parafina aglomeradas que atrapan agua y sólidos inorgánicos entre la red que forman. Se les llama "blandos", porque si se deja caer una plomada sobre el depósito; este podrá ser penetrado. Con esa característica, el tratamiento de estos lodos resulta muy sencilla.

Los depósitos duros.- Son masas impenetrables que se forman en los equipos que operan durante muchos años sin que se haya tenido

jamás control de la parafina. En estos casos, la parafina junto con los sólidos forman una masa compacta, la cual tiene una cierta proporción de asfaltenos y sólidos inorgánicos que ocasionan el endurecimiento del depósito.

**2.b.- Los lodos tipo asfáltico.** Los lodos aceitosos se forman principalmente de parafinas (cadenas de hidrocarburos C20-C50 sin fracciones aromáticas). Pero un componente fraccional menor de los depósitos lodosos consiste en hidrocarburos base aromática, denominados asfaltenos.

Este material es una mezcla de diferentes constituyentes amorfos.

- a.- Resinas neutras, solubles en n-pentano, insolubles en álcalis y ácidos.
- b.- Asfaltenos, solubles en benceno, insolubles en éter de petróleo.
- c.- Ácidos asfaltogénicos, solubles en benceno y álcalis.
- d.- Carbón libre, insoluble en benceno.
- e.- Carbenos, soluble en benceno, insoluble en tetracloruro de carbono.

La presencia de estos componentes en el aceite crudo, depende de la temperatura y los niveles de oxidación.

Los asfaltenos y las resinas neutras son los componentes más comunes de la fracción aromática. Los asfaltenos no son volátiles y tienen altos pesos moleculares. La estructura del asfalteno es muy compleja y se descompone a muy altas temperaturas (700 G.F.).

El no tener una estructura cristalina, hacen que los lodos tipo asfáltico sean diferentes a los lodos tipo parafínico; porque el tratamiento para el problema de asfaltenos es muy diferente al que se utiliza para problemas de parafina.

Los asfaltenos forman soluciones coloidales o suspensiones. Los asfaltenos son liofílicos respecto a los aromáticos, y liofóbicos con respecto a las parafinas de bajo peso molecular. La precipitación de asfaltenos se lleva a cabo al hacer contacto con parafinas de bajo peso molecular. Los solventes aromáticos y los altamente polares, peptizan los asfaltenos, y forman soluciones coloidales estables. Las propiedades de peptización o de precipitación que tengan los diferentes solventes con respecto a los asfaltenos, se relacionan directamente con la tensión superficial. La precipitación ocurre cuando los solventes tienen una tensión superficial abajo de 24 dyn/cm a 25 GR.CENT. mientras que la peptización se lleva a cabo cuando la tensión

superficial es arriba de 26 dyn/cm a 25 GR.CENT. Hasta ahora el tratamiento y prevención de los asfaltenos se ha limitado a usar solventes aromáticos, polares, aminas aromáticas y compuestos aromáticos policíclicos.

Los lodos tipo asfáltico pueden identificarse por las siguientes características:

- 1) Color negro
- 2) Duros; opacos o brillantes y chiclosos
- 3) Insolubles en n-pentano
- 4) Solubles en aromáticos

### III.2.3.- Componentes de los lodos aceitosos y parafínicos que requieren evaluación

A muestras de lodos de diferentes tanques de almacenamiento, se les efectuaron las siguientes determinaciones analíticas.

MUESTRA	ANÁLISIS EFECTUADO
1.- Lodo aceitoso	Contenido de agua Contenido de aceite Contenido de insolubles inorgánicos Contenido de sales ** Cenizas
2.- Lodo deshidratado	Peso específico(20/40R.CENT.) Insolubles en n-pentano Contenido de saturados Contenido de aromáticos Contenido de polares Acidez Metales (Ni, Fe, Cr, V, Na)
3.- Agua congénita del lodo	pH Sólidos suspendidos Alcalinidad F Alcalinidad M Dureza total

\*\* Nota: Siendo el NaCl el compuesto fundamental del agua producida en los pozos petroleros, se acostumbra reportar la concentración de sales, como la concentración de cloruro de sodio equivalente. Las unidades usadas en el campo son: lb de NaCl equivalente por cada 1000 barriles de crudo.



## MUESTRA

## ANÁLISIS EFECTUADO

3.- Agua congénita del lodo

Dureza al calcio  
Cloruros  
Sulfatos  
Fosfatos  
Sílice soluble  
Metales (Fe, Mg, Sr, Ca, Ba, K, Na)

Estas determinaciones permiten conocer los componentes del lodo aceitoso y establecer como base los parámetros a tomar en cuenta para su evaluación. (Los métodos de análisis se especifican en la sección VI.4).

En el anexo A se muestran las gráficas de caracterización de sedimentos(\*\*) y la caracterización de los sólidos insolubles presentes en los lodos aceitosos.

\*\* En la práctica se utiliza también el término "sedimentos" para designar a los "lodos aceitosos".

### III.3.- TEORÍA DE EMULSIONES

El aceite, el agua y los sólidos que son los tres elementos principales que constituyen a los lodos aceitosos, se encuentran en forma de una emulsión muy estable.

Una emulsión se define como dos líquidos inmiscibles, uno de los cuales está disperso en el otro en forma de pequeñas gotas; se estabiliza por medio de cargas eléctricas y agentes emulsificantes.

En el pozo donde se formó el petróleo, por lo general no existe emulsión, esta se forma cuando el agua y el aceite juntos sufren una fuerte agitación al salir del pozo y en el transporte por las tuberías, debido a grandes diferencias de presión. Sin embargo, ninguna agitación sería suficiente para formar una emulsión, si estos dos líquidos (agua y aceite crudo) no fueran inmiscibles o insolubles uno en el otro.

Para que se forme una emulsión estable, se tienen que dar tres condiciones necesarias: 1) los dos líquidos deben ser inmiscibles, 2) debe haber suficiente agitación para dispersar uno de los líquidos en el otro, 3) debe haber presente un agente emulsificante. Este último factor es muy importante, puesto que el agua pura, y el aceite puro nunca formarían emulsión estable por más agitación que se aplique.

Cuando estos dos líquidos se encuentran en estado puro dentro de un mismo recipiente, se acomodan de manera que haya el mínimo contacto entre ellos o la mínima área interfacial; de manera que cuando una gota de agua pura se encuentre en un medio de aceite puro, tomará la forma de una esfera que tratará de comprimirse y reducir lo más posible su área superficial.

Esta fuerza que provoca que la gota se contraiga para tener la mínima superficie de contacto con el aceite, se llama Tensión Superficial\*\*.

Cuando se agitan el aceite y el agua puros (en caso de que haya aceite en mayor cantidad) se formarán gotas de agua dispersas en el medio de aceite, pero conforme estas gotas de agua que se forman en el seno del aceite se encuentran, se van uniendo y formando una gota más grande que se va a separar del aceite por diferencia de densidades.

Sin embargo esto que se acaba de describir sucede únicamente cuando los dos líquidos son puros; pero en el caso de la mezcla agua-aceite que existe en el petróleo, existen además de los dos líquidos, una gran cantidad de impurezas como son sales (de Na, Ca, Mg, cloruros, a veces sulfatos, etc.) disueltas en el agua y asfaltenos, parafinas, compuestos polares, aromáticos, resinas, creosoles, fenoles, ácidos orgánicos, productos de la corrosión, etc. disueltos en el aceite crudo.

\*\* Tensión Superficial.- Es una propiedad de los líquidos que los distingue de los gases. En el seno de un líquido las moléculas se atraen por fuerzas en equilibrio, pero en la superficie no están equilibradas; la resultante es una fuerza perpendicular a la superficie que provoca la contracción de ésta.

Las impurezas mencionadas migran a la interfase agua-aceite y ahí se concentran, rodeando a las gotas de agua que se han formado, siendo de esta forma neutrales para el agua y el aceite. Estos son los que constituyen los agentes emulsificantes y forman una barrera física y eléctrica a la unión de las gotas de agua. De la naturaleza de esta película (rígida o elástica) dependerá la estabilidad de la emulsión. Además, como las partículas emulsificantes se mueven en la fase oleosa, acarrean a las gotas de agua que han aislado, manteniéndolas de esta forma flotando en el aceite. Los cambios de ph de la fase acuosa afectan la naturaleza de la película en forma considerable, siendo inestables a un ph de 8.5-10.5.

La estabilidad de una emulsión depende de varios factores:

1).- El tamaño de las gotas de agua dispersas es una medida de la estabilidad, siendo entre mas pequeñas, mas estable la emulsión. El tipo y grado de agitación, por lo general determinan el tamaño de las gotas. Entre mas fuerte sea la agitación aplicada a la mezcla agua-aceite, mas pequeñas serán las gotas formadas y mas estable sera la emulsión que resulte.

2).- Una emulsión estable puede contener todos los tamaño de gotas, pero el porcentaje de gotas grandes es bajo. El diámetro de las gotas varia de 1 micra a centenas de micras, pero en promedio, la mayoría de las gotas de una emulsión estable son de 10 micras.

3).- La viscosidad del aceite juega un papel doble, ya que en un aceite muy viscoso, aunque exista agitación, se dificulta la formación y separación de las gotas de agua, de manera que aunque se formen no serán tan finas como se hubieran formado en un aceite ligero. Pero por otro lado, la alta viscosidad permite mantener suspendidas gotas mas grandes y hace que las gotas chicas tengan aun mas resistencia a asentarse. Sin embargo, los crudos pesados dificultan el movimiento de las partículas emulsificantes hacia la interfase, y por lo tanto puede decirse que forman emulsiones menos estables.

El tipo de agente emulsificante afecta en forma drástica a la estabilidad de una emulsión. Existen diferencias considerables entre las formas de actuar de los diferentes agentes bajo diferentes condiciones y existen demasiadas variables para poder hacer generalizaciones acerca de la actividad específica o relativa de los emulsificantes. Sin embargo esta actividad se relaciona con dos funciones generales - la velocidad de migración a la interfase y su acción en ese sitio.

Al principio, al mezclarse el agua y el aceite, el agente emulsificante se encuentra distribuido en forma homogénea en el aceite, y la emulsión es relativamente inestable. Con el tiempo, el agente que se encuentra en el aceite, migra a la interfase y va formando una película cada vez mas gruesa y fuerte alrededor de la gota de agua. Al tornarse mas resistente la película, da como resultado una emulsión mas difícil de romper que una que se acabe de formar.

Como los varios componentes de un agente emulsificante tienen diferentes propiedades, el tiempo requerido para la migración puede variar de una emulsión a otra.

Los lodos aceitosos que se forman en una refinería, por lo general presentan una emulsión directa, es decir, agua en aceite; pero pueden presentarse también emulsiones inversas aceite en agua.

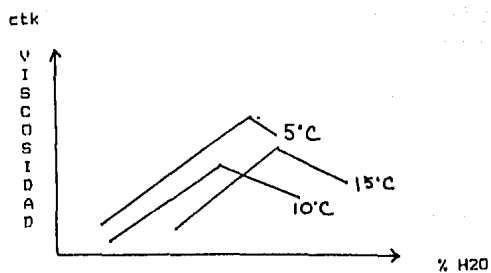
Las condiciones necesarias para que se presente una emulsión inversa son: 1) un alto porcentaje de agua, 2) contenido bajo de sal, 3) que el agente emulsificante se encuentre en la fase acuosa.

Las cargas eléctricas juegan un papel importante en la estabilización de las emulsiones inversas (aceite en agua). Estas cargas solo pueden mantenerse en aguas con una baja conductividad o con contenidos bajos de sal. A medida que aumenta el contenido de sal, este tipo de emulsión se vuelve menos estable, debido a que las cargas en las partículas de aceite pueden dispersarse y entonces las gotas de aceite se unirán más fácilmente. Cuando el agente emulsificante se encuentra en el agua, tiende a rodear y a atrapar a las partículas de aceite dispersas.

El % de agua en la emulsión, afecta en forma considerable a la viscosidad. La tendencia natural es que a mayor porcentaje de agua en la emulsión, la viscosidad aumenta. Sin embargo, las investigaciones han demostrado que en el rango de 60-80% de contenido de agua, la viscosidad decrece bruscamente.

Además, entre más frío este un crudo, a un mismo % de agua, será más viscoso (ver figura 2).

FIGURA 2



Variación de la viscosidad con respecto al  
% de H<sub>2</sub>O presente en la emulsión

Para poder desestabilizar una emulsión y posteriormente separarla en sus partes, es necesario conocer las formas en las que se estabiliza.

El mecanismo responsable de la formación de una emulsión estable entre el aceite y el agua, se debe a la presencia de agentes tensoactivos naturales que se encuentran presentes en el aceite crudo. La estructura molecular de estos agentes tensoactivos comprende dos elementos. Estos elementos son: 1) un grupo molecular o iónico que tiene constituyentes polares que son fácilmente hidratados y confieren en cierto grado la propiedad de solubilidad acuosa en la molécula. Esta parte de la molécula se llama hidrofílica. 2) grupos moleculares compuestos de hidrocarburos miscibles con la fase de aceite y son insolubles en agua. Esta porción de la molécula se denomina lipofílica. Se establece que la fase líquida en la cual el agente emulsificante es más soluble, es la fase externa de la emulsión.

Debido a su estructura molecular, estos agentes de superficie se orientan en la interfase agua-aceite formando una densa película cohesiva en la interfase, que representa una barrera para la coalescencia de las gotas de agua emulsionada.

Existe un segundo mecanismo para la estabilización de la emulsión. Este consiste en la presencia de sólidos bi-humectados. De esta forma se tienen partículas sólidas que son parcialmente mojadas por el agua y en parte por el aceite, localizándose por tanto en la interfase. En esencia, actúan como una barrera que evita que las gotas de agua emulsionada puedan coalescer.

### III.3.1.- Tratamiento de emulsiones

El tratamiento que se le da a la emulsión presente en el lodo aceitoso requiere una combinación tanto de adición química como de agitación, calor, electricidad y asentamiento.

#### a).- Adición Química (desemulsificantes)

La acción de un desemulsificante puede ser en cuatro formas:

1) atracción a la interfase aceite-agua, 2) floculación, 3) coalescencia y 4) humectación de los sólidos.

Un desemulsificante es de la misma naturaleza que un emulsificante; son agentes tensoactivos con ciertas propiedades internas que contrarrestan los efectos de los emulsificantes. Todas las acciones se realizan en la interfase agua-aceite, de modo que el desemulsificante tiene que penetrar a esta zona para actuar. Entre más rápido llegue a la interfase, tendrá una mejor acción.

Debido a que la acción del emulsificante inició antes, éste se concentra en la interfase y crea una resistencia adicional a la acción del desemulsificante. Por lo tanto, un buen desemulsificante debe tener la capacidad de migrar rápidamente a través de la fase oleosa y competir con los factores que se presenten, para poder ocupar su lugar en la interfase.

Una vez que el desemulsificante se establece en la interfase, se lleva a cabo la floculación. El desemulsificante concentrado en la superficie de la gota de agua que esta dispersa en el aceite, provoca una fuerte atracción sobre las demás gotas que se encuentran en las mismas condiciones. Así, por medio de este mecanismo, comienzan a juntarse las gotas, y cuando crecen lo suficiente, el aceite se torna muy brillante, debido a que las gotas de agua ya no estan dispersas y por lo tanto ya no difunden la luz.

Aunque el desemulsificante produce la unión de las gotas de agua, no rompe la película envolvente formada por el emulsificante. Sin embargo si el emulsificante es débil, esta fuerza de floculación puede ser suficiente y romper totalmente la emulsión. Pero en la mayoría de los casos se necesita que las gotas se junten y crezcan bastante para poder liberarse y poder separarse y formar la segunda fase (agua). A la acción de que las gotas de agua se unan formando agua mas grandes se le llama coalescencia.

Un buen desemulsificante, no solo debe flocular las partículas de agua, también debe romper la película que las rodea y permitirles unirse. Al lograr esto, empiezan a crecer rápidamente las gotas de agua y comienza a separarse el agua de la fase oleosa.

En la mayoría de los aceites crudos, los sólidos como Fe, S, sedimento, arcilla, etc. complican el proceso de desemulsificación, debido a que como ya se dijo tienden a concentrarse en la interfase y estabilizan la emulsión. Esto significa que la remoción de estos sólidos, es importante para lograr un tratamiento satisfactorio.

Para remover estos sólidos de la interfase, pueden dispersarse en el aceite o pueden ser humectados y removidos con el agua. Si se dispersan en el aceite, la emulsión podrá ser tratada, pero los sólidos permanecerán como contaminantes en el aceite que se esta recuperando. Por lo tanto es mas conveniente remover los sólidos con el agua.

El mecanismo que se sigue para humectar los sólidos con aceite o con agua es el mismo, solo que el reactivo químico debe ser diferente en cada caso. En ambos casos, el agente químico tendrá un extremo que será atraído fuertemente al sólido y por lo tanto formará un recubrimiento en este. El otro extremo tendrá ya sea atracción por el agua o por el aceite y por lo tanto acarrarea las partículas sólidas a ese líquido.

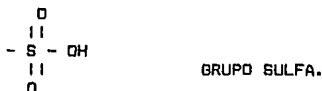
Es raro que un solo reactivo pueda llevar a cabo las cuatro acciones de un desemulsificante : 1) Fuerte atracción interfacial, 2) Floculación, 3) Coalescencia, 4) Humectación de los sólidos. Lo que se hace usualmente es mezclar dos o mas reactivos y producir una formulación que de la combinación necesaria de acciones.

Un solo producto no podrá tratar todas las emulsiones que se forman en los campos petroleros, pero combinándolos puede dar buen resultado.

El escoger un desemulsificante apropiado para un determinado tipo de emulsión es un trabajo complicado, muchas veces de prueba y error. Se han podido caracterizar las emulsiones y se han podido diferenciar según sus propiedades los diferentes tipos de desemulsificantes, sin embargo, las emulsiones encontradas en un determinado lugar no siempre tendrán las mismas características, puesto que con el tiempo, las condiciones en las que se encuentra la emulsión pueden cambiar y las características de la emulsión también cambiarán.

Una buena forma de seleccionar reactivos para que actuen en la emulsión de un determinado lodo aceitoso, es por medio de las pruebas de botella. Estas pruebas se llevan a cabo tomando muestras de la emulsión en botellas de 100 ml y adicionando los reactivos que se quieran probar. Se deja reposar a las condiciones ambientales reales en que se encuentra la emulsión problema y después del tiempo determinado se observa el efecto de los reactivos por medio de la separación que haya tenido el agua en la muestra de emulsión y por la consistencia de la interfase. Las pruebas de botella no representan una prueba absoluta, sin embargo dan buenos resultados y útiles respuestas. Antes de hacer la selección del reactivo que se va a usar, es importante tener un buen conocimiento de las condiciones para el tratamiento con las que se cuenta. Si no se dispone de mucha agitación se necesitará un reactivo de acción rápida. Si no se cuenta con calentamiento, se tendrá que considerar que el reactivo deberá trabajar a temperatura ambiente. Los diferentes tipos de tratamiento requerirán diferentes acciones químicas.

Algunos de los compuestos orgánicos que se utilizan como agentes desemulsificantes son glicoles y resinas polioxialquilénicas. Se utilizan también compuestos orgánicos que tengan el grupo sulfato:



Estos compuestos, debido a su solubilidad en ambas fases de la emulsión, penetran fácilmente a la fase interna, destruyendo la capa de emulsificante, reduciendo la tensión superficial de la fase dispersa y promoviendo que se rompa la emulsión.



El desarrollo de la química de surfactantes logra reducir cada vez mas la cantidad de desemulsificante necesario, lo que significa ahorro en el tratamiento y que se eliminen los efectos secundarios que se pudieran suceder a causa de la presencia de grandes cantidades de reactivo.

La dosificación variará según la estabilidad que presente la emulsión.

Como el agente químico debe hacer contacto con cada gota de agua estabilizada, para poder desestabilizarla debe lograrse que se mezcle completamente con toda la emulsión. Si se agregara el reactivo solo a la emulsión, como es tan poca la cantidad requerida para una determinada cantidad de emulsión, no tendría un buen contacto con todas las gotas dispersas. Lo que se hace entonces, es utilizar un solvente en el que se agrega el reactivo y de esta manera se adiciona a la emulsión permitiendo un mejor contacto y una distribución mas homogénea del reactivo.

La elección de un desemulsificante depende de los siguientes factores:

- 1) Rápida separación del agua a la menor temperatura
- 2) Grado de dosificación del desemulsificante
- 3) Temperatura y tiempo mínimos al cual se obtenga una buena deshidratación
- 4) Contenido residual de agua
- 5) Riesgo de volverse a emulsificar
- 6) Efectos secundarios

#### b).- Agitación

Es necesario que exista una buena agitación para mezclar perfectamente el desemulsificante con la emulsión, y para propiciar la colisión entre las gotas y que exista la coalescencia una vez que se hayan roto las películas de emulsificante.

#### c).- Temperatura

La temperatura representa una ayuda al mezclado, la coalescencia y el asentamiento. La temperatura ayuda de la siguiente manera:

- a) Reduciendo la viscosidad del aceite.
- b) Debilitando la película entre el aceite y las gotas de agua por medio de una expansión del agua.
- c) Aumentando las diferencias de gravedad de los fluidos lo que favorece a que se reduzca el tiempo de asentamiento.

Como el aumento de temperatura acelera el proceso de rompimiento de la emulsión en el lodo aceitoso, se utiliza para reducir el tamaño del equipo de tratamiento. Sin embargo hay que tener en mente que al aumentar la temperatura se vaporizan los componentes ligeros del aceite, y a menos que se tenga algún medio para evitar esto, habrá una reducción en la viscosidad API perdiendo por tanto, calidad el aceite crudo que se pueda recuperar. (Nota: La reducción de 1 grado API, causa una pérdida de 2.75% de volumen en un crudo de 30 grados API.)

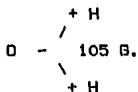
Es importante considerar que antes de aumentar la temperatura debe eliminarse el agua libre que pueda existir, ya que el agua tiene una capacidad calorífica muy alta y absorbería todo el calor que debiera recibir la emulsión.

#### d).- Electricidad

Frecuentemente se utiliza electricidad en lugar de aumento de temperatura como ayuda al proceso de tratamiento. Este recurso es muy valioso cuando el espacio para el tratamiento es de principal importancia, debido a que el uso de la electricidad, acelera el proceso de separación mucho más que lo hace el aumento de temperatura y permite utilizar equipo más pequeño.

La electricidad actúa de la siguiente manera: al pasar una emulsión a través de un campo eléctrico, las pequeñas gotas de agua se polarizan y se estiran debido a las tracciones polares. Esta polarización aumenta la velocidad y la fuerza de impacto de unas partículas con otras a medida que se aceleran hacia el electrodo atrayente. Al deformarse las gotas, provocan que se debilite la película y de esta manera las gotas se unirán más rápidamente.

La base para la unión electrostática de las gotas, la proporciona la propia molécula de agua que se forma por una parte de oxígeno y dos de hidrógeno que al unirse forman un dipolo que responde al aplicar un campo eléctrico.



El componente (+) está en un extremo y el componente (-) en el otro extremo formando un dipolo.

Bajo la influencia de un campo eléctrico, una gota de agua se deforma elipsoidamente. Con el alargamiento, la película que la rodea se rompe y facilita la coalescencia de las gotas adyacentes. Pero aun mas importante es el desplazamiento que sufren las gotas bajo el efecto eléctrico. Las gotas quedan alineadas con las líneas de fuerza del campo eléctrico, y con la corriente alterna las gotas se afectan unas 120 veces/seg.



El electrodo (+) atrae a las cargas (-), y el electrodo (-) a las cargas (+).

La fuerza de atracción para gotas del mismo tamaño puede expresarse matemáticamente por:

$$F = (G \cdot K \cdot E^2 \cdot r^6) / d^4$$

DONDE:

- K = Cte. dieléctrica
- E = Gradiente eléctrico
- r = Radio de la gota
- d = Distancia entre centros de gotas
- G = Fuerza de gravedad

Cuando disminuye la distancia entre partículas, aumenta la fuerza de atracción en forma notable.

Aumentar el gradiente eléctrico podría acelerar el proceso, pero el voltaje (que fluctua entre 12 000 y 30 000) varía inversamente a la densidad del aceite y a la conductividad de la emulsión por tratar.

$$V = 1 / (\varrho \text{ CRUDO} \cdot e \text{ EMULSION})$$

DONDE:

- $\varrho$  = Densidad
- e = Conductividad

$$V = \text{Voltaje}$$

Existen casos en los que la emulsión formada es muy resistente a una resolución electrostática o aún a la desemulsificación química. Esto es debido por lo general a que el agua presente en el aceite es muy alta o muy baja en valores de ph. En estos casos la separación de agua es lenta e imperfecta. Sin embargo, el ajustar un determinado ph para desestabilizar la emulsión no es suficiente por sí solo. Siempre es necesario aplicar un tratamiento que puede ser químico o físico ya que el proceso de alterar el ph solo acelera y hace mas efectivos los métodos convencionales.

### e).- Asentamiento

Un equipo de tratamiento siempre proporciona tiempo suficiente para el asentamiento del agua. El tiempo que necesita el agua para separarse, lo determina la diferencia en gravedad específica que exista entre el agua y el aceite, la viscosidad del aceite y el tamaño y condición de las gotas de agua.

Debido a la variedad de factores que influyen en el tiempo de asentamiento, este varía considerablemente de un sistema a otro.

La ley de Stokes proporciona una relación de estos factores que influyen en la velocidad de asentamiento:

$$V = \frac{2gr^2(D_2 - D_1)}{9m}$$

DONDE:

- V = Velocidad de asentamiento de la gota
- gr = Gravedad
- r = Radio de la partícula
- D<sub>2</sub> - D<sub>1</sub> = Diferencia de gravedad específica entre el agua y el aceite
- m = Viscosidad del aceite

Aquí la viscosidad es el factor dominante y puede ser reducida con aumento de temperatura, pero el aumento de temperatura como ya se dijo puede afectar negativamente a la economía. El ajustar la velocidad de asentamiento con el aumento de temperatura, tiene limitaciones económicas, de manera que manejar el radio de la partícula es una mejor alternativa.

El aumentar el radio de la partícula hará que aumente la velocidad de asentamiento en mayor grado que si se aumenta la diferencia de densidades. Por lo tanto, el sistema más eficiente para separar el agua del aceite será el que use un aumento de temperatura moderado, menor cantidad de aditivos químicos, y tiempo o algún medio que aumente el tamaño de las gotas (coalescencia) y se asienten más rápido.

I GR. CENI.	Q H <sub>2</sub> O	Q ACEITE	Q ACEITE (CP)
43	1.02	0.84	6.52
65	1.01	0.83	3.15

$$V = 0.78 \cdot r^2 \cdot (\rho_2 - \rho_1) / \eta$$

DONDE:

$\eta$  = Viscosidad  
 $r$  = Radio de la partícula  
 $\rho$  = Densidad  
 $V$  = Velocidad de asentamiento

GR.CENT.	RADIO (MICRAS)	VEL. (CM./HR.)
43	10	2.13
65	10	4.51
43	100	213.00

Puede verse que la velocidad de asentamiento se duplica para un incremento de 22 GR.CENT.. Pero si el radio de la partícula se aumenta de 10 a 100 micras, a una misma temperatura, la velocidad se hace 100 veces mayor.

Lo anterior sugiere que deben buscarse medios para aumentar el tamaño de las partículas, sobre todo cuando son de radios menores de 10 micras.

#### III.4.- TEORIA DE CRISTALIZACION DE PARAFINAS

Los depósitos de parafina representan un factor muy importante a considerar en el tratamiento de los lodos aceitosos. La causa de que se formen depósitos parafinosos, se debe a pérdida de las propiedades de disolución, que mantienen a las ceras incorporadas en el aceite. Esto puede deberse a reducción en la temperatura o presión, y a una alteración de las propiedades de la solución que provoca la depositación de ceras. Al reducirse la presión o la temperatura, el equilibrio normal de la solución se altera y entonces ocurre la cristalización y la precipitación.

Los depósitos de parafina pueden considerarse como conglomerados de material orgánico e inorgánico que se separan del aceite crudo. Los depósitos de parafina pueden variar en su naturaleza, desde las ceras parafínicas blancas y casi puras, hasta aquellos depósitos de naturaleza asfáltica. El número de los diferentes compuestos y tipos de cera encontrados en los depósitos parafinosos, dependen del carácter del aceite crudo; esto incluye agua, resinas, gomas, asfaltenos, compuestos inorgánicos, etc.. Por lo tanto, los depósitos parafinosos están formados por ceras parafínicas, ceras microcristalinas, material asfáltico, aceite, agua, arena y sedimentos.

#### III.4.1.- Clases de parafinas

**Ceras parafínicas** .- Constituyen cerca del 40 a 60 % de los depósitos parafínicos procedentes de aceites crudos. Pueden considerarse como compuestos de cadena larga conteniendo desde aproximadamente 26 hasta 50 átomos de carbono.

Las ceras parafínicas sólidas consisten de cristales largos definidos y en forma de agujas, los que se conglomeran y forman grandes masas.

**Ceras microcristalinas** .- Se encuentran en una proporción menor del 10% en los depósitos y están formados por compuestos de cadena larga con ramificaciones y grupos cíclicos a lo largo de la estructura principal. La estructura cristalina es muy pequeña e irregular; propende a permanecer dispersa en el fluido y muestra poca tendencia a formar conglomerados.

#### III.4.2.- Factores que favorecen la formación de depósitos parafínicos

La formación de depósitos parafínicos que originalmente se encuentran disueltos en el aceite, se debe a la pérdida de equilibrio de disolución entre tales componentes parafínicos y el aceite o medio disolvente. Los factores que pueden considerarse como los más importantes para provocar el desequilibrio mencionado y consecuentemente la formación de depósitos parafínicos son los siguientes:

**Temperatura**.- Que aparentemente es el factor de mayor importancia, ya que la cantidad de parafina que pueda permanecer en solución, dependerá de la temperatura hasta alcanzar la saturación.

**Pérdida de fracciones ligeras**.- Estas fracciones contenidas en el aceite favorecen la disolución de los depósitos parafínicos, por lo que su pérdida aumenta la separación de dichos componentes.

**Balace Aromáticos-Asfaltenos.**- Los aromáticos son excelentes solventes de parafina, mientras que los asfaltenos y resinas se identifican como modificadores de cristales y dispersantes de parafina. Estos componentes pueden representar por tanto, un factor mas importante en los problemas de parafina que el mismo contenido de parafina en el aceite. Sucede que la pérdida de aromáticos reduce la solubilidad de los asfaltenos y por tanto cambia las características de inhibidor que existian en los asfaltenos en solución, convirtiéndolos en centros de nucleación favoreciendo entonces la precipitación de la parafina. Una pequeña adición de aromáticos puede restablecer el balance aromáticos-asfaltenos y proporcionar un buen control de la parafina.

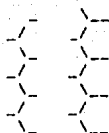
**Partículas Extrañas.**- La presencia de partículas extrañas facilitan el fenómeno de nucleación de la parafina.

Uno de los factores de mayor importancia en las diversas teorías que se han establecido para tratar de interpretar la formación de los depósitos parafinosos es el relacionado con el llamado fenómeno de nucleación.

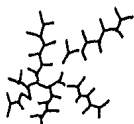
Para lograrse la formación de un cristal de parafina, debe existir inicialmente un núcleo estable que actúe como centro de crecimiento donde se adhieran las moléculas de parafina. Sin embargo, antes de la nucleación se tiene una formación y disociación continua de los agrupamientos moleculares. A medida que precipita mayor cantidad de moléculas de parafina, la concentración de estas llega a ser tal que se presenta el desequilibrio lo cual resulta en una mayor formación de agrupamientos y menor grado de disociación de los mismos. En estas condiciones, el cristal tiende a crecer por la adición de agrupamientos moleculares, es decir, que una vez iniciada la nucleación, se tendrá un crecimiento espontáneo del cristal.

Arriba del punto de enturbiamiento de la solución, la molécula de cera se encuentra extendida y en forma discreta. A medida que la temperatura empieza a bajar, las moléculas de cera se empiezan a juntar en conglomerados. Entre mas lento sea el descenso de la temperatura mayores serán las masas de cera acumulada, debidas principalmente a la oclusión de aceite, impurezas, sedimento básico y agua.

Cuando la cantidad de aceite ocluida en la parafina es grande, esta tiende a ser suave, semifluida y mas sensible al calor, independientemente del punto de fusión de la cera. Esto se debe a que el aceite suaviza y disuelve parte de la cera cuando se aumenta la temperatura. Cuando la cantidad de aceite es poca, la parafina es dura y menos plástica, y la temperatura no tiene mucho efecto hasta que se acerca a la temperatura de fusión.



Cristal de cera de  
aceite crudo  
(arriba del punto de  
enturbiamiento,  
moléculas aisladas)



Cohesión de cristales  
de cera. ( Al comenzar  
a descender la temperatura  
abajo del punto de enturbiamiento.)



Oclusión de sedimento básico y agua en el  
proceso de cristalización  
de la cera

Existe una relación directa entre el punto de escurrimiento de un aceite y el grado de depositación de parafina.

También existe una relación entre la parafina que se deposita y la cantidad de hidrocarburos saturados presentes en el aceite crudo y la temperatura de enturbiamiento de la fracción de saturados.

### III.5.-EQUIPOS AFECTADOS POR LOS LODOS ACEITOSOS

Los tanque de almacenamiento son uno de los equipos en los que mas problema causan los lodos aceitosos; se empiezan a acumular en el fondo del equipo, disminuyendo su capacidad de almacenamiento y obstruyendo tuberías y drenajes. Como consecuencia, se afectan también las bombas y el equipo relacionado con estas.

Unido a este problema de acumulación de lodos en el fondo de los tanques, se tiene el problema de arrastre de estos lodos hacia otros equipos, como son los trenes de intercambio de calor provocando una obstrucción; las desaladoras, el calentador, y también se tiene el problema de la corrosión en la lámina de los equipos en que se deposite.

De esta manera el problema de los lodos requiere atención verdadera puesto que como se puede ver, afecta equipo costoso además de ser contaminante en aguas y tierras.



## V.- MEJORES DE CONTROL

### V.1.- METODOS CORRECTIVOS

Los métodos correctivos se refieren a la eliminación de los lodos del lugar donde se hayan formado. Sin embargo, el objetivo de los métodos correctivos no solamente es deshacerse del problema, sino, evitar que esos lodos vayan a causar otro problema mayor de contaminación y tratar de recuperar la mayor cantidad de hidrocarburos como sea posible.

Estos métodos se pueden englobar en:

- a) Térmicos
- b) Mecánicos
- c) Solubilización con Solvente
- d) Utilización de reactivos químicos

V.1.1.- Los métodos térmicos se refieren a la aplicación de calor con objeto de hacer mas grande la diferencia de densidades entre el aceite y los demás elementos que constituyen el lodo aceitoso; y facilitar así la sedimentación de agua y sólidos así como la recuperación del aceite y las parafinas que tienen un valor económico importante. Sin embargo, estos tratamientos térmicos no son muy adecuados si se aplican solos, porque además de ser muy caros (costos de calentamiento, disminución del volumen de crudo debido a pérdidas de fracciones ligeras); resultan una mejora pasajera del problema, ya que al enfriarse el sistema, el problema volverá a presentarse y además en forma mas severa, porque el que se pierdan fracciones ligeras del crudo, rompe el equilibrio que existe en la solución de crudo provocando un aceleramiento en la precipitación de parafinas y asfaltenos.

Los controles que deben tenerse al aplicar este método deben ser muy rigurosos, puesto que al aumentar demasiado la temperatura, solamente resultaría en una degradación del aceite crudo recuperado, lo que disminuiría su valor de venta, resultando de esta forma incosteable su recuperación.

V.1.2.- Los métodos mecánicos de eliminación de lodos, utilizando trabajadores, palas y camiones; resulta muy costoso. Esto sin incluir la pérdida de tiempo al tener que parar la producción y la pérdida de aceite y parafina que van con el lodo ; el cual es cargado en camiones y desechado en terrenos dispuestos para este fin.

Los métodos mecánicos que se han venido aplicando para eliminar los lodos, en la actualidad resultan imprácticos, dado que requieren de mucho tiempo y utilizan una gran cantidad de trabajadores. Estos inconvenientes han propiciado el desarrollo de dispositivos mecánicos para la remoción de lodos, así como diversas alternativas para separar sus componentes.

En el anexo C se mencionan algunos de estos desarrollos.

Existen métodos combinados que dan buenos resultados;

- Uno de estos es el llamado "Gun Barrel" que es la adaptación de un tanque, para poder tratar a los lodos. Tiene dos secciones, una de recibo y una cámara cerrada de calentamiento.

Un par de vertederos llevan el lodo a la parte superior de la zona de recibo al fondo de la cámara de calentamiento y una porción del lodo fluye a través de la descarga para definir la interfase entre el sedimento y el agua libre. El lodo fluye diagonalmente hacia arriba en la cámara de calentamiento. De esta manera se lleva a cabo la separación de las fases. La fase oleosa se extrae por un conducto de la cámara de calentamiento. (2)

- Otro método correctivo combinado es un lavado que se efectúa con inyección de vapor a baja presión (3.5 kg/cm<sup>2</sup>) y agitación. Este tratamiento puede catalogarse como correctivo para la disminución de lodos de tanques de almacenamiento de aceite crudo. Sin embargo, la eficiencia de este lavado es relativamente baja, ya que aún después del tratamiento permanecen en el depósito parafinas, que representan una gran cantidad de crudo valioso.

**V.1.3.- Solubilización con solventes.**- Este tipo de tratamiento correctivo resulta adecuado únicamente cuando el problema de lodos no es muy severo, de lo contrario el solvente requerido para solubilizar los lodos y fluidizarlos para su remoción, resulta incosteable.

Una alternativa a la solubilización con solvente, es el llamado "Crude-Washing". El lodo aceitoso que se pega en las paredes y fondos de los equipos, especialmente tanques de almacenamiento, es un material mas pesado que el aceite limpio. El lavado que se efectúa con el aceite es en la misma forma que un solvente limpiaría el equipo.

Este proceso de lavado de tanques utiliza la misma carga de crudo como el fluido para lavar; reduciendo la contaminación en el manejo normal de lodos. La remoción de lodos por medio de este procedimiento es mas efectivo que con el lavado con agua, debido a que el aceite crudo actúa como solvente, disolviendo y dispersando el lodo y permitiendo que se elimine con la descarga.

Los requerimientos básicos para un lavado con crudo son:

- Un sistema de gas inerte que asegure una atmósfera fuera de peligro en el equipo a limpiar.
- Máquina y tubería fijadas en el equipo para evitar derriames durante la operación.
- Para aplicar el crudo al tanque, se utilizan inyectores a 100 psig que succionen el crudo sobre paredes y fondos, dejándolos libres de lodo. (5)

V.1.4.- Utilización de reactivos químicos.- La realidad es que tanto los métodos mecánicos como los térmicos, resultan costosos y se pierde una cantidad considerable de aceite.

La forma más adecuada de atacar el problema, es por tanto, con un tratamiento químico.

Se han desarrollado una gran cantidad de aditivos, que se aplican, dependiendo del problema de lodo de que se trate:

Para lodos parafínicos se tiene:

1) Dispersantes.- Envuelven a las partículas y cambian su habilidad de adherirse a otras partículas y a las superficies. Cuando las partículas son pequeñas, permanecen suspendidas en el aceite.

El dispersante tiene una estructura química tal, que tiene una cabeza con atracción por las partículas de parafina, y por lo tanto las envuelve químicamente. La otra terminal de la molécula puede ser soluble en agua o en aceite, dependiendo de la fase en la que la parafina se disperse. Lo más común es dispersar la parafina en fase aceite. Los dispersantes tienen la facultad de poder esparcirse en la superficie y penetrar las masas acumuladas, envolver las partículas individuales y de este modo liberarlas permitiéndoles moverse en el medio fluido. Las masas de parafina acumulada también contienen asfaltenos y otros materiales de alto peso molecular que llenan los espacios porosos y retardan la penetración del dispersante.

2) Detergentes. - El detergente reduce la tensión superficial, lo que permite que la parafina se humecte. La tensión superficial de la parafina, es menor que la del crudo y que la del agua, por lo que es hidrofóbica y oleofóbica. Los surfactantes en general reducen la tensión superficial del agua, lo que permite que la parafina se humecte en el agua y posteriormente pueda ser extraída.

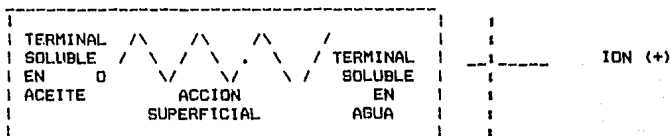
Los agentes tensoactivos se clasifican en tres categorías de acuerdo a su habilidad para ionizarse en el agua y de la parte de su molécula que actúa como agente de superficie.

Estas tres categorías son:

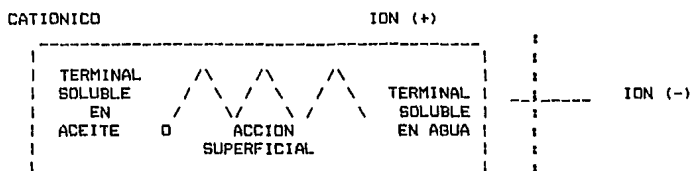
Aniónica .- Molécula que ioniza al contacto con el agua, donde la porción cargada negativamente es el agente tensoactivo. Esta porción negativa tiene una terminal soluble tanto en aceite como en agua, que migra y se establece en la interfase. La parte cargada positivamente entra en solución en el agua y no interviene en el fenómeno.

ANIONICA

ION (-)



**Catiónica.**- Se ioniza al contacto con el agua, pero en este caso la porción positiva es el agente tensoactivo.

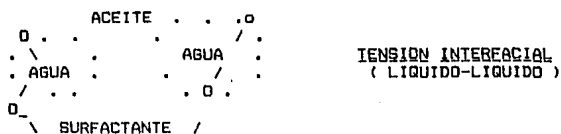


**No Iónicas.**- No se ionizan (partículas independientes con carga) sin embargo tienen una porción soluble tanto en agua como en aceite que se establece en la interfase.

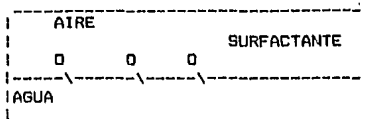
NO IONICO



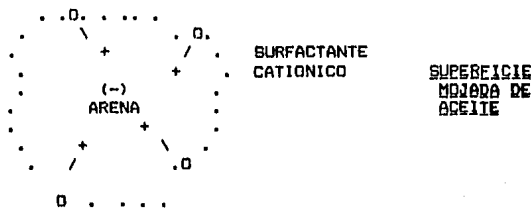
**Tensión Interfasial.-** (Líquido-Líquido). Cuando el aditivo actúa sobre la tensión interfasial, se encuentra el surfactante alineado en la interfase aceite/agua y la terminal soluble en agua dentro de la gota de agua dispersa.

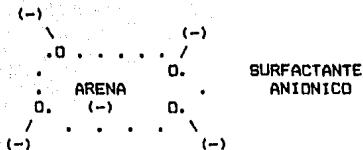


**Tensión Superficial.-** (Aire-Líquido) En este caso la porción del surfactante soluble en agua, se encuentra en el agua, y la terminal soluble en aceite hace contacto con el aire.



**Humectación.-** (Sólido-Sólido) La superficie de los sólidos se humectan con los fluidos que los rodean, y el tipo de humectación con surfactantes, depende de la porción de la molécula que se adsorba en la superficie; esta determinará el líquido que humecte a la partícula.





**SUPERFICIE  
MOJADA DE  
AGUA**

El tratamiento químico para lodos aceitosos, reduce el tiempo usado, de varios meses que emplea un trabajo mecánico, a unos cuantos días de circulación con el reactivo químico, además que el material indeseable puede ser drenado junto con el agua; y la parafina puede suspenderse en el aceite y aumentar así el volumen de ganancias.

Los aceites oscuros pueden sostener mas parafina, debido a los efectos solvatantes de los asfaltenos y las resinas. También la presencia de material de cadenas ligeras como metano, etano, butano aumentan la capacidad del aceite para sostener parafina.

Los problemas de lodo tipo asfáltico son difíciles de tratar. Los tratamientos normales con aceite caliente no son efectivos para remover depósitos de asfalto, porque estos materiales no se funden, sino que se descomponen a +700 G.F.. Por lo tanto el tratamiento con aceite caliente solo produce una oxidación de los asfaltenos y los hace tipo "vidrioso".

El diesel, gasolina, condensados, fuel oil y otros solventes bajos en contenido aromático con tensión superficial abajo de 26 dyn/cm<sup>2</sup>, no disuelven los asfaltenos, sino que los precipitan de la solución y complican el problema. Solo los solventes con una tensión superficial arriba de 26 dyn/cm<sup>2</sup> lograr incorporar los asfaltenos en la solución de crudo para poder ser extraídos.

A continuación se menciona el método de lavado con aceite caliente aplicando reactivos químicos:

#### **Técnica de Lavado con Aceite Caliente**

Utiliza como solvente algún aceite ligero. El lodo y el agua se remueven del equipo con ayuda de un dispersante y un solvente de parafinas. Estos aditivos ayudan a penetrar el lodo y suspenderlo en

el crudo para su separación. Una vez terminado el proceso de limpieza, el crudo se transfiere a la planta de recuperación de aceite. Para asegurar una limpieza efectiva, es necesario utilizar calentamiento y circulación continua del aceite.

#### V.2.- MÉTODOS PREVENIVOS

Los métodos preventivos se refieren a la inhibición de la formación de lodos.

Se pueden subdividir en :

- 1) Métodos físicos
- 2) Métodos químicos

V.2.1.- Los métodos físicos se refieren a evitar la sedimentación por medio de agitación continua (ej. mamparas en el paso del crudo, o con aplicación de calor para facilitar la disolución de los componentes). Sin embargo este tipo de solución solamente posterga el problema y eleva los costos de operación, pero en realidad no se está logrando una inhibición real.

V.2.2.- Los métodos de inhibición que en realidad dan buenos resultados y que si solucionan el problema, son los métodos químicos. En México se empiezan a desarrollar tecnologías en este sentido.



## VII.- DESARROLLO EXPERIMENTAL

### VIII.- Efecto del Tiempo de Reposo en la Formación del Lodo

Para poder apreciar el efecto del tiempo de sedimentación, se implemento un equipo que mantiene el aceite crudo en reposo y expuesto a la temperatura ambiente. Las pruebas se hicieron a 2, 4, 6 Y 8 semanas.

Para estas pruebas se utilizó un crudo de naturaleza cerosa para que la sedimentación de material y formación de lodo pudiera ser apreciable en el tiempo destinado al experimento.

La evaluación de la sedimentación en función del tiempo de reposo, se llevo a cabo en forma comparativa con una muestra inicial de crudo. De esta forma se pudieron identificar los cambios que sucedieron en las propiedades físicas Y químicas en función del tiempo.

Los análisis que se llevaron a cabo fueron:

- 1) Peso específico (20/4 BR.CENT.)
- 2) BS&W por centrifugación
- 3) Contenido de agua
- 4) Contenido de aceite
- 5) Contenido de sólidos inorgánicos
- 6) Contenido de sales
- 7) Punto de escurrimiento
- 8) Destilación Hempell
- 9) Extracción de parafinas
- 10) Punto de fusión de la parafina extraída

Las gráficas que se muestran en el anexo B, presentan la relación de variación de los diferentes componentes y propiedades físicas con el tiempo de sedimentación del aceite crudo. La toma de muestra fue en el domo del tanque de prueba.

Los asfaltenos y las parafinas tienden a sedimentarse con respecto al tiempo y los compuestos aromáticos tienden a concentrarse en la parte superior del tanque.

## VI.2.- Pruebas de solubilización de lodo

Con objeto de determinar el tipo de solvente que mejor disuelva e incorpore al lodo aceitoso a la solución, se llevo a cabo la siguiente prueba que consistió de lo siguiente:

- 1) En probetas de 100 ml. agregar 50 ml. de la muestra de lodo
- 2) Adicionar 20% del solvente a probar
- 3) Agitar durante 5 min.
- 4) Observar homogeneidad y fuides de la mezcla dentro de la probeta
- 5) Dar una calificación de M=Malo, R=Regular, B=Bueno, MB=Muy Bueno
- 6) Adicionar mas solvente, lo necesario para tener el 50% de solvente; y repetir los pasos 2),3) y 4).
- 7) Agregar mas solvente a completar a 100%, y repetir la prueba

Después de terminada la prueba se tienen 3 calificaciones para cada solvente; a 20%, 50% y 100%.

Se probaron distintas clases de solventes como se muestra en la tabla 4. Si se dan valores a las letras de: MB=10, B=8, R=6 y M=0 la mejor puntuación como solvente de lodos la obtiene el tolueno que es un solvente tipo aromático.

La gráfica 13 muestra un promedio de las puntuaciones alcanzadas por tres de los solventes: tolueno (solvente aromático con el que se obtuvieron los mejores resultados) y kerosina y diesel que son solventes comúnmente utilizados en las refinerías para remoción de lodos.

**TABLA 4**  
**TABLA DE RESULTADOS DE LA PRUEBA DE SOLUBILIDAD**

SOLVENTE		MT-1	MT-2	MT-3	MT-4	MT-5	MT-6
BENCENO	20%	R	R	R	R	R	M
	50%	B	B	B	B	B	B
	100%	B	B	B	B	B	B
C C14	20%	M	M	M	M	M	M
	50%	M	R	M	R	R	R
	100%	R	R	R	B	B	R
CLOROFORMO	20%	R	R	MB	R	R	R
	50%	B	R	MB	B	B	B
	100%	B	B	MB	MB	B	B
DICLOROETANO	20%	R	B	B	R	B	M
	50%	B	B	B	B	B	R
	100%	B	MB	B	B	B	R
DIESEL	20%	M	M	M	M	M	R
	50%	M	M	M	M	M	M
	100%	R	R	B-	B	B-	B-
HEXANO	20%	R	R	R	R	R	M
	50%	R	B	R	R	B	R
	100%	R	B	B	B	B	R
HEXANOL	20%	M	M	M	M	M	M
	50%	M	R	R	M	M	M
	100%	R	R	R	M	R	M
KEROSINA	20%	M	M	M	M	M	M
	50%	R	R	R	R	R	R
	100%	R	R	R	R	R	R
TOLUENO	20%	B	B	B	B	B	M
	50%	MB	MB	MB	MB	MB	B
	100%	MB	MB	MB	MB	MB	B

DONDE:

MT-# = Muestra de lodo aceitoso

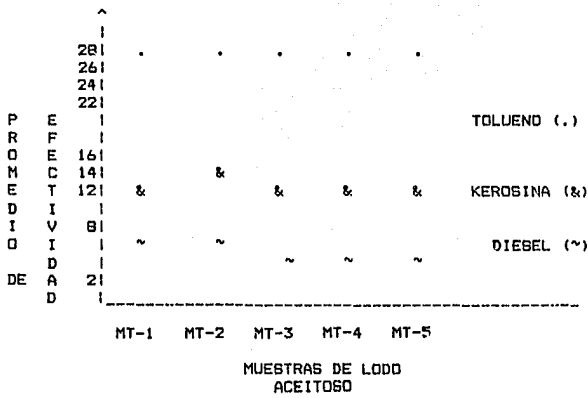
MB=Muy bueno=10

B =Bueno=8

R =Regular=6

M =Malos=0

GRÁFICO 13



### **VI.3.- Aplicación de aditivos químicos**

#### **VI.3.1.- Efecto de los aditivos químicos sobre parafinas y asfaltenos**

Considerando que son las parafinas y los asfaltenos los que al sedimentarse principian la formación del lodo aceitoso, se desarrollaron las siguientes pruebas en las cuales, se atacan estos componentes con aditivos químicos para inhiir la formación del lodo.

##### **a).- Modificación del Cristal de Parafina**

Un modificador de la estructura cristalina no evita que los sólidos salgan de la solución del crudo, mas sin embargo cambia el patrón de crecimiento del cristal.

Actúan como venenos conforme las partículas precipitan del aceite. Los cristales así envenenados tienen la tendencia de perder su habilidad de aglomerarse. El proceso de envenenamiento continua, aun cuando el crecimiento de la partícula haya sido iniciada. De esta manera, el cristal de parafina sufre un cambio físico y se redispersa en el crudo. Este tipo de reactivo co-cristaliza con la parafina, combinándose con sus moléculas. El modificador de la estructura cristalina : 1) Disminuye las fuerzas cohesivas entre partículas, 2) Como hay relación directa entre el punto de escurrimiento y el grado de depositación de parafinas, el reactivo disminuye la temperatura de punto de escurrimiento, haciendo mas fluido el depósito a una menor temperatura, 3) Al mantener separadas las partículas provoca una reducción de la viscosidad.

##### **Desarrollo de la Prueba**

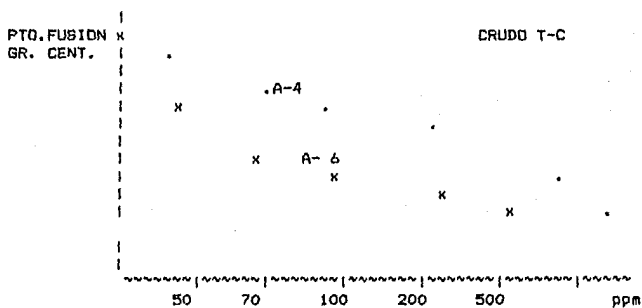
Se llevó a cabo una prueba tomando como parámetro de evaluación el punto de fusión de la parafina. Considerando que al modificarse la estructura cristalina las cadenas son menos ramificadas el punto de fusión de la parafina disminuye. Se siguió el siguiente procedimiento:

- 1.- Desparafinar una muestra de 250 ml de aceite crudo, utilizando como solvente metiletilcetona-tolueno (45:55), a una temperatura de -23 GR.CENT. y destilar la parafina obtenida a 140 GR.CENT. para eliminar el solvente.
- 2.- Determinar el efecto del modificador de la estructura cristalina sobre el punto de fusión.  
Para determinar el punto de fusión se usó el método ASTM-D-87-77

En seguida se muestran los resultados de 4 de los aditivos que mejor efecto tuvieron sobre el punto de fusión de la parafina de la mayoría de los crudos probados.

PARAFINA DE:	PTO. FUSION (GR. CENT.) (SIN ADITIVO)	PTO. FUSION (GR. CENT.) (CON ADITIVO 100 ppm)			
		A-6	A-2	A-3	A-4
CRUDO T-A	93.0	54	61	56	70
CRUDO T-B	96.0	56	61	62	75
CRUDO T-C	92.0	50	58	54	73
CRUDO T-D	82.0	46	52	49	61
CRUDO T-E	82.5	48	55	50	64
CRUDO T-F	92.5	52	60	55	72
CRUDO T-G	84.0	47	54	47	66

MODIFICACION DEL PUNTO DE FUSION A DIFERENTES DOSIFICACIONES DE ADITIVO



## **b).- Efecto sobre el grado de depositación de parafina**

Tomando como base los aditivos que dieron mejor resultado como modificadores del cristal de parafina (en base a la disminución del punto de fusión), se aplicaron a la siguiente prueba para evaluar el efecto de depositación de parafina sobre una superficie metálica.

Para esto se implementó un sistema de separación de parafinas por inducción. El sistema se constituyó de los siguientes componentes:

- \* Recipiente metálico con recubrimiento epóxico
- \* Baño de enfriamiento con recirculación y control térmico
- \* Dispositivo inductor a la depositación de parafina
- \* Termómetro ASTM-6c (de -80 a 20 GR.CENT.)
- \* Mangueras Tygon

La prueba consistió en lo siguiente:

- 1).- Agregar un volumen definido y constante de aceite crudo al recipiente con recubrimiento.
- 2).- Dosificar 100 ppm de aditivo al aceite crudo y homogenizar esta mezcla.
- 3).- Introducir el dispositivo inductor de depositación de parafinas en la mezcla crudo-aditivo, a una profundidad constante.
- 4).- Recircular alcohol isopropílico a una temperatura de -20 GR.CENT. a través del dispositivo inductor durante 4 horas.
- 5).- Extraer el dispositivo de la mezcla aceite-aditivo y recolectar el material depositado sobre sus caras externas, y cuantificarlo en peso.

6).- Calcular el % de inhibición por medio de la siguiente expresión:

$$I = 100 - [ 100 (A/B) ]$$

DONDE:

A = Peso de la parafina depositada en las paredes del dispositivo con la mezcla crudo-aditivo.

B = Peso de la parafina depositada en las paredes del dispositivo utilizando aceite crudo sin aditivo.

I = % de inhibición de depositación de parafina

La tabla siguiente muestra los resultados obtenidos en esta prueba observándose que los aditivos A-6, A-2, A-3, A-4 lograron una inhibición mayor al 50 %, comparando con un blanco para cada tipo de crudo.

#### RESULTADOS DE LA PRUEBA DE DEPOSITACION DE PARAFINAS

ADITIVO (1000ppm)	CRUDO T-A		CRUDO T-B		CRUDO T-C		CRUDO T-D	
	DEP. (grs )	% I	DEP. (grs )	% I	DEP. (grs )	% I	DEP. (grs )	% I
A-1	364	- 15	200	- 23	548	- 5.6	402	- 10.2
A-9	281	- 34	218	- 16	406	- 30.12	290	- 35.0
A-10	212	- 50.4	196	- 24	226	- 61.1	195	- 56.0
A-6	200	- 53.1	134	- 48	423	- 26.8	182	- 59.0
A-5	386	- 10	200	- 23	500	- 14.0	353	- 21.0
A-11	296	- 31	194	- 23.5	322	- 44.5	242	- 45.0
A-7	153	- 64.2	132	- 49	218	- 62.0	221	- 51.0
A-8	230	- 46.1	206	- 20	314	- 46.0	182	- 59.0
A-2	195	- 54.3	118	- 54	182	- 68.0	140	- 68.0
A-3	136	- 68	121	- 53	200	- 65.0	120	- 73.0
A-4	200	- 53.1	163	- 37	262	- 55.0	162	- 63.0
BLANCO	427	----	260	----	581	-----	448	----

DONDE:

DEP. = Depositación de parafina (grs)

%I = % de Inhibición logrado por el aditivo

Entre menos cantidad de parafina se logra depositar en el dispositivo, mayor será el % de inhibición a la depositación de parafina logrado por el aditivo.



### c) .- Dispersión de los asfaltenos del aceite crudo

La precipitación de asfaltenos se lleva a cabo al hacer contacto estos con parafinas de bajo peso molecular. Los solventes aromáticos y los altamente polares peptizan los asfaltenos y forman soluciones coloidales estables. Las propiedades de peptización o de precipitación que tengan los diferentes solventes con respecto a los asfaltenos, se relaciona directamente con la tensión superficial. La precipitación ocurre cuando los solventes tienen una tensión abajo de 24 dyn/cm<sup>2</sup> a 25 GR. CENT. mientras que la peptización se lleva a cabo cuando la tensión superficial es arriba de 26 dyn/cm<sup>2</sup> a 25 GR. CENT..

Para la evaluación de la dispersión de asfaltenos con aditivos se diseñó y estandarizó una prueba en la que se aceleró el proceso de depositación de asfaltenos por medio de la acción del pentano y la fuerza centrífuga. Los asfaltenos al ser insolubles en pentano precipitan en el fondo del recipiente de prueba. La función del aditivo es la de contrarrestar la acción del pentano y lograr dispersar los asfaltenos.

La prueba se llevo a cabo de la siguiente manera:

- 1) A peras para centrifuga de 100 ml, agregar 25 ml de crudo y 25 ml de pentano. (\*)
- 2) Adicionar 100 ppm del aditivo a probar
- 3) Centrifugar 40 min a una velocidad de 4000 rpm
- 4) Obtener el % de sedimento en cada caso comparándolo con el blanco.
- 5) El % de dispersión se obtendrá de la siguiente manera:

$$\%D = 100 - \% \text{ SEDIMENTO}$$

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos utilizando cuatro muestras de diferentes aceites crudos y los aditivos que dieron los mejores resultados.

(\*) : Las proporciones de solvente, aceite crudo y aditivo que se usan en esta prueba fueron determinados después de varias pruebas preliminares como las adecuadas para obtener una cantidad suficiente y de consistencia firme del asfalteno depositado.

**TABLA DE RESULTADOS**  
**DISPERSION DE ASEALTIENOS**

REACTIVO	M-1	M-2	M-3	M-4
	A.D. %D (ml.)	A.D. %D (ml.)	A.D. %D (ml.)	A.D. %D (ml.)
A-1	11.5 - 32	9.1 - 24	5.9 - 41	10.8 - 28
A-10	10.2 - 40	6.6 - 45	5.0 - 50	8.7 - 28
A-12	7.4 - 56	4.5 - 62	3.2 - 68	6.1 - 59
A-13	10.5 - 38	7.2 - 40	5.4 - 46	8.8 - 41
A-5	13.4 - 21	10.0 - 16	0.0 - 20	12.5 - 16
A-11	9.3 - 45	7.2 - 40	5.3 - 47	8.1 - 46
A-7	8.1 - 52	5.1 - 57	3.8 - 62	7.5 - 50
A-8	9.1 - 46	7.4 - 38	6.5 - 35	10.2 - 32
A-9	11.5 - 32	8.4 - 30	7.4 - 26	12.6 - 16
A-2	13.6 - 20	8.8 - 26	6.8 - 32	12.4 - 18
A-6	14.1 - 17	9.7 - 19	7.8 - 22	12.4 - 18
BLANCO	17.0 - ---	12.0 - ---	10.0 - ---	15.0 - ---

DONDE:

- M-# = Muestra de aceite crudo
- A.D. = Asfalteno depositado en el fondo de la pera (ml)
- %D = Porcentaje de dispersión logrado por el aditivo

El pentano provoca la precipitación de los asfaltenos, pero al adicionar el aditivo, lo que se intenta es contrarrestar la acción del pentano y la centrifuga y lograr mantener dispersos los asfaltenos en solución.

A mayor cantidad de asfalteno depositado en el fondo de la pera, menor será el grado de dispersión logrado por el aditivo.

Se observa que los aditivos A-6, A-2, A-3, A-4 que fueron los mejores en las pruebas con parafina, no dieron los mejores resultados en esta prueba con asfaltenos. Sin embargo el A-6 y A-2 dieron un grado de dispersión de asfaltenos de aproximadamente 20%, que tomando en cuenta las condiciones drásticas de la prueba se consideran válidos. (No se incluyen los resultados de A-3 y A-4 porque la dispersión lograda fue menor del 5%).

Los aditivos que dieron mejor resultado en esta prueba fueron (dispersión mayor de 40%): A-12, A-13, A-11, A-7.

### VI.3.2.- Dispersión del lodo aceitoso

Como aplicación a un método correctivo, el objetivo de esta prueba es dispersar el lodo ya formado, utilizando aditivos químicos.

Se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- 1) En probetas de 100 ml se colocó 20 % en volumen de lodo aceitoso.
- 2) Se agregaron 100 ppm del aditivo a probar
- 3) Se completó el volumen a 100 ml con el solvente determinado
- 4) Se incorporaron todos los elementos por medio de agitación hasta disolución completa del lodo
- 5) Se dejaron reposar las probetas por 48 hrs.
- 6) El % de dispersión fue determinado de la siguiente manera:
  - Introducir una pipeta de 25 ml hasta una profundidad 4cm arriba de la base de la probeta.
  - Tomar una muestra de 25 ml en una pera de centrifugación.
  - Llenar el volumen de la pera con solvente y centrifugar durante 10 min a una velocidad de 1200 rpm.
  - Leer directamente en el fondo de la pera la cantidad de sedimento que quedó depositada. (para determinar el % de lodo depositado, multiplicar el valor leído por 4).
  - Se correrá una muestra de lodo sin aditivo
  - El % de dispersión se obtiene con la siguiente expresión:

$$\% D = [ M/N (100) ]$$

DONDE:

- % D = % Dispersión
- M = % Lodo depositado en la Muestra con aditivo
- N = % Lodo depositado en la muestra sin aditivo

Nota: El solvente utilizado fue tolueno por haber resultado el mejor en las pruebas de solubilidad (VI.2).

Se seleccionó un tiempo de reposo de 48 hrs por ser el tiempo máximo que permanece el crudo en un tanque de almacenamiento.

**Observaciones:** Al dejar reposar las botellas, se espera que el mejor dispersante sedimente menos cantidad de lodo. El tomar una muestra del fondo y centrifugar es una forma de determinar la cantidad de lodo que se encuentra en el fondo de la probeta. La probeta que tenga el mejor dispersante, dará la menor cantidad depositada despues de centrifugar.

En seguida se muestran los resultados obtenidos de la prueba de dispersión de lodo aceitoso:

ADITIVO (1000 ppm)	CRUDO T-A		CRUDO T-B		CRUDO T-C		CRUDO T-D	
	DEP. (ml )	%D	DEP. (ml )	%D	DEP. (ml )	%D	DEP. (ml )	%D
A-1	12	- 40	14	- 41	24	- 40	16	- 27
A-2	16	- 20	12	- 50	22	- 45	8	- 63
A-12	12	- 40	12	- 50	16	- 60	18	- 18
A-4	16	- 20	8	- 66	23	- 42	20	- 9
A-5	14	- 30	18	- 25	31	- 23	12	- 45
A-10	18	- 10	20	- 16	23	- 42	16	- 27
A-9	10	- 50	21	- 12.5	14	- 65	17	- 22
A-13	14.6	- 27	16	- 33	19	- 52	20	- 9
A-7	17	- 15	12	- 50	36	- 10	12	- 45
A-6	11	- 45	12	- 50	25	- 37	14	- 36
A-11	13	- 35	18	- 25	21	- 47	16	- 27
BLANCO	20	---	24	---	40	---	22	--

Los aditivos que lograron una mejor dispersión del lodo aceitoso fueron: A-2, A-12, A-13, A-7, A-6. (Estos aditivos lograron un % de dispersión en promedio del 50%).

ESTA TESTS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

VI.4.- Métodos analíticos utilizados en la  
experimentación

Los métodos usados en las caracterizaciones de crudo fueron:

	METODO
Peso Especifico	ASTM D-287, ASTM D-941-83
GR. API	ASTM D-287
Viscosidad	ASTM D-341-77
Temperatura de Escurrimiento	ASTM D-97
Presión de vapor	ASTM D-323
LMB (NaCl LB/1000 barriles)	VOP-22
Azufre total	ASTM D-129
Parafina total	VOP-46-40
Temperatura de fusión	ASTM D-938, D-87-77, D-127-63
Carbon Ramsbottom	ASTM D-524
Agua	ASTM D-95
Agua y sedimento básico	ASTM D-96
Acidez	ASTM D-9741
Cenizas	ASTM D-482
Acido sulfhídrico	VOP-163
Insolubles en n-C5	IMP-SAP-002
Aceite	IMP-SAP-002
Resinas	IMP-SAP-002
Poder calorífico	ASTM D-240
Metales	IMP-aa-aa-018
Nitrógeno total	UOP-384
Destilación Hempell	ASTM D-285

Los metodos usados para analizar el agua congénita fueron:

	METODO
PH	Potenciómetro
Alcalinidad F	APHA
Alcalinidad M	APHA
Dureza total	APHA
Fe	Emisión de plasma
Mg	Emisión de plasma
Sr	Emisión de plasma
Ca	Emisión de plasma
Ba	Emisión de plasma
K	Emisión de plasma
Na	Emisio de plasma

Los métodos usados en la caracterización de lodos aceitosos fueron:

METODO

Agua	ASTM D-95
Aceite	Cálculo
Sólidos insolubles n-C5	Extracción Soxhlet
Sales (LMB como NaCl)	Electrometría
Cenizas	Calcinación ASTM D-482
Insolubles n-C5	ASTM D-2007
Saturados	ASTM D-2007
Aromáticos	ASTM D-2007
Polares	ASTM D-2007
Ni	Emisión de plasma
Fe	Emisión de plasma
Cr	Emisión de plasma
V	Emisión de plasma
Na	Emisión de plasma

Los métodos usados para caracterizar los sólidos presentes fueron:

METODO

Carbono	Infrarrojo
Azufre	Infrarrojo
Calcio	Absorción Atómica
Fierro	Absorción Atómica
Fotasio	Emisión de flama
Sodio	Emisión de flama

## VI.5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.

1.- De las pruebas de solubilización se obtuvo que los solventes aromáticos son los que pueden disolver mejor a los lodos aceitosos.

2.- Los aditivos A-2, A-3, A-4, A-6 fueron con los que se obtuvo la menor depositación de parafinas, lográndose una inhibición promedio del 50%.

3.- La mayor dispersión de asfaltenos se logró con los aditivos : A-12, A-13, A-11, A-7, A-2, A-6 que lograron dispersar en promedio un 40% de los asfaltenos presentes.

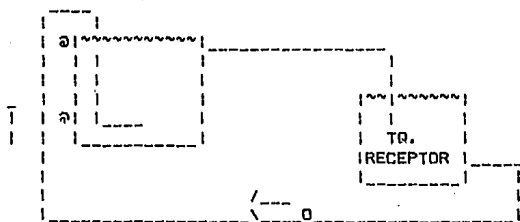
4.- En la prueba de dispersión de lodo aceitoso se logró dispersar hasta un 50% en promedio con los aditivos A-2, A-6, A-12, A-13, A-7. (Esta prueba se llevó a cabo utilizando tolueno como solvente).

5.- Los aditivos que dieron mejor resultado en forma global en todas la pruebas (A-2, A-6, A-7) son de tipo polimérico, aniónico y con carácter aromático.

**VI.6.- Simulador del proceso normal de un tanque de almacenamiento de aceite crudo**

El objeto de este sistema es probar la inhibición de lodos aceitosos en el fondo del tanque por medio de la acción química de los reactivos que mejor resultados dieron en las pruebas anteriores. La siguiente figura muestra la disposición del sistema implantado:

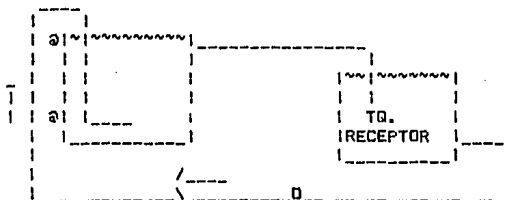
**CORRIERA CON ADITIVO**



**BOMBA PERISTALTICA**

V M  
A T  
L O E  
V M B  
U A T  
L A R  
A D A  
S E S

**CORRIERA DEL BLANCO**



**BOMBA PERISTALTICA**



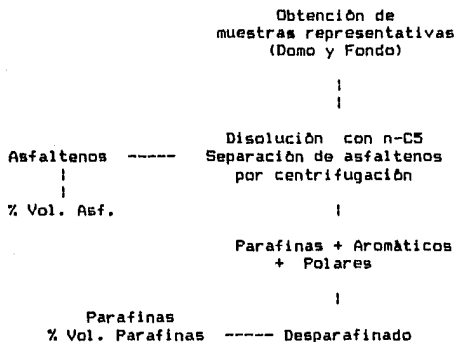
En base al análisis de resultados, se eligieron los aditivos A-6 y A-7 y se hizo una formulación. Se eligió el A-6 porque con él se logró la mayor inhibición a la depositación de parafinas y el A-7 porque fue uno de los que lograron mayor dispersión de los asfaltenos presentes en el aceite crudo.

Para aplicar esta formulación se hizo una solución al 20 % en solvente aromático, con objeto de lograr un mayor contacto de los aditivos con todo el crudo existente en el tanque de prueba.

### Procedimiento:

- Cargar al sistema una mezcla de 5 % de lodo aceitoso disuelto en el aceite crudo. (Se utilizó crudo T-B con una gravedad específica de 0.87)
- Agregar a uno de los sistemas 100 ppm de la formulación desarrollada.
- Iniciar la circulación del aceite crudo por los sistemas de tanques, considerando ciclos de 1 hr. de circulación y 4 hrs. de reposo. Este proceso se mantendrá trabajando durante 4 semanas.
- Terminado el tiempo de prueba se llevan a cabo las siguientes determinaciones:
  - \* Tomar 250 ml de muestra del domo y del fondo.
  - \* Separar asfaltenos por centrifugación, con solvente, y cuantificar % de asfaltenos presentes.
  - \* Realizar un desparafinado de la muestra a -23 GR.CENT. y cuantificar % de parafina.

### Método a seguirse en la prueba del tanque simulador de la sedimentación de aceite crudo



**TABLA DE RESULTADOS  
DETERMINACIONES PARA MUESTRAS DEL DOMO Y DEL FONDO  
(PERIODO DE PRUEBA 1 1 MES)**

	%ASFALTENOS B - C/A	%PARAFINAS B - C/A
~~~~~		
SEMANA # 1		
DOMO	8 - 8	46 - 45
FONDO	10 - 9	49 - 45
~~~~~		
SEMANA # 2		
DOMO	7 - 8	44 - 45
FONDO	15 - 10	53 - 47
~~~~~		
SEMANA # 3		
DOMO	5 - 7	44 - 45
FONDO	26 - 14	59 - 48
~~~~~		
SEMANA # 4		
DOMO	4 - 6	41 - 43
FONDO	30 - 14	63 - 49
~~~~~		

DONDE : B = Corrida del blanco

C/A = Corrida con formulación A-6/A-7 al 20% en  
solvente aromático.

Total depositado en el fondo de los equipos después de la prueba  
(se utilizó una plomada para medir el lodo depositado)

BLANCO

EQUIPO CON ADITIVO

10 cm de lodo

4.2 cm de lodo

Se logró mantener disperso casi un 60 % de los asfaltenos con los aditivos químicos en comparación con la corrida del blanco.

Solo se cuantificó % asfaltenos y % parafinas al ser estos los componentes principales del lodo aceitoso (excluyendo agua y sólidos inorgánicos) y los causantes de la formación al salir de solución del aceite crudo.

El aceite crudo también contiene compuestos aromáticos, polares, resinas, azufre compuestos que no fueron cuantificados.

## VII.-CONCLUSIONES

Después de analizar los resultados obtenidos de las pruebas que se llevaron a cabo, se llegó a las siguientes conclusiones:

1.- Al incrementar el tiempo de reposo de un aceite crudo, aumenta la concentración de compuestos aromáticos en la parte superior de la fase oleosa y aumenta la concentración de asfaltenos y compuestos saturados en el fondo.

2.- Los solventes aromáticos disuelven los lodos de los tanques de almacenamiento mucho mas que los compuestos saturados y que los compuestos polares.

3.- Al agregar un solvente aromático a una mezcla crudo-lodo-aditivo dispersante, se logra mantener disperso el lodo en una proporción mayor que sin la adición del compuesto aromático. Si los compuestos aromáticos tienden a concentrarse en la superficie y los asfaltenos a precipitar, entonces la adición de un compuesto aromático reestablece el equilibrio en contenido de asfaltenos-aromáticos y permite que se mantengan suspendidos los asfaltenos, que las parafinas no cristalicen y sedimenten y por lo tanto que se evite la formación del lodo aceitoso.

4.- Cuando se logran mantener suspendidos los asfaltenos en el aceite crudo, la tendencia de la parafina a cristalizar y sedimentarse también disminuye.

5.- Los compuestos que dieron mejor resultado en la inhibición y dispersión del lodo aceitoso que se utilizó en este estudio, fueron compuestos aromáticos policíclicos tipo aniónico.

6.- La formación de lodos aceitosos puede inhibirse químicamente lo mismo que puede dispersarse de la misma manera el que ya se haya formado. La aplicación de estos métodos no requieren sacar de operación a un tanque para su tratamiento, y con un tratamiento continuo de inhibición se puede evitar que se formen en otros equipos que también presentan problemas.

## ANEXO A

### CONTENIDO

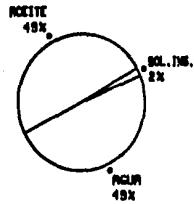
- Tabla 2 .- Caracterización de Sedimentos.
- Gráfica 1.- Caracterización de Sedimentos en Tanques de Almacenamiento de Aceite Crudo.
- Gráfica 2.- Caracterización de Sedimentos en Tanques de Almacenamientos de Aceite Crudo. (continuación)
- Gráfica 3.- Caracterización de Sólidos Insolubles en Aceite Crudo Almacenado.
- Gráfica 4.- Caracterización de Sólidos Insolubles en Aceite Crudo Almacenado. (continuación)
- Gráfica 5.- Caracterización de Sólidos Insolubles en Aceite Crudo Almacenado. (continuación)

CARACTERIZACION DE SEDIMENTOS

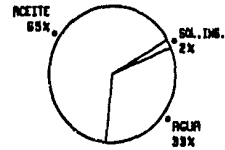
TABLA 2

MUESTRA	DETERMINACION	METODO EMPLEADO	SEDIMENTO MUESTREADO EN LA RETINERA DE						
			AZCAPOTZALCO			TULA		MADERO	
			TV-1	TV-2	TV-3	TV-2	MUN-530	MUN-534	MUN-541
ORIGINAL	AGUA (% EN PESO)	DESTILACION	49.0	33.0	48.6	19.0	60.4	54.1	14.5
	ACEITE (% EN PESO)	CALCULO	48.7	65.0	43.6	44.0	36.9	43.7	80.0
	SOLIDOS INSOLUBLES (% EN PESO)	EXTRACCION SOXHLET	7.3	2.0	1.8	35.0	2.7	2.2	5.5
	SALES (LMB COMO NaCl)	ELECTROFILTRIA	13.0	4700.0	10.0	13.0	10000.0	8000.0	3000.0
	CEMIZAS (% EN PESO)	CALCIVACION	0.2	1.0	0.0	1.0	0.0	0.3	39.7
	INSOLUBLES EN H <sub>2</sub> O (% EN PESO)	CRONATOGRAFIA	22.3	13.6	32.9	13.2	33.8	11.5	29.7
	SATURADOS (% EN PESO)	CRONATOGRAFIA	39.2	24.9	8.7	24.2	5.0	23.1	7.4
	INSATURADOS (% EN PESO)	CRONATOGRAFIA	7.7	31.5	50.4	37.6	49.0	42.3	32.1
	EXTRACTOS (% EN PESO)	CRONATOGRAFIA	30.9	23.0	7.9	18.2	11.2	15.2	42.1
	ACIDEZ (COMO mg KOH/gr)	NEUTRALIZACION	0.7	0.6	0.4	0.2	0.4	0.3	0.3
SEDIMENTO DESHIDRATADO	NIQUEL (ppm)	EMISION DE PLASMA	19.1	19.1	31.7	31.7	35.4	27.4	
	PIERRO (ppm)	EMISION DE PLASMA	207.3	166.2	0.5	150.5			
	CROMO (ppm)	EMISION DE PLASMA	<0.015	<0.015	<0.015	<0.015	<0.015		
	YANADIO (ppm)	EMISION DE PLASMA	85.1	119.3	184.1	113.8			
	SODIO (ppm)	EMISION DE PLASMA	21.5	<0.056	1.8	117.4			
	pH	POTENCIOMETRIA	8.1	8.1	4.5	7.2	7.0	7.1	6.9
	SOLIDOS SUSPENDIDOS (ppm)	MUCH	140.0	75.0	480.0	180.0	150.0	300.0	1200.0
	CONDUCTIVIDAD (mv/cm)	MUCH	2800.0	3125.0	750.0	810.0	3500.0	160.0	750.0
	CLORUROS (ppm)	APIA	8355.0	7587.0	3159.0	2299.0	14007.0	9478.0	2593.0
	SULFATOS (ppm)	APIA	1500.0	1500.0	1200.0	475.0	200.0	283.0	1800.0
AGUA CONCENTRADA	SILICE SOLUBLE (ppm)	APIA	30.0	50.0	50.0	85.0	52.0	52.0	52.0
	FOSFATOS (ppm)	APIA	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	0.0
	ALCALINIDAD "F" (COMO ppm de CaCO <sub>3</sub> )	APIA	169.0	121.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	ALCALINIDAD "M" (COMO ppm de CaCO <sub>3</sub> )	APIA	1016.0	1016.0	145.2	847.0	1016.0	367.0	774.0
	DUREZA TOTAL (COMO ppm de CaCO <sub>3</sub> )	APIA	8200.0	3000.0	2070.0	2060.0	5480.0	2520.0	1700.0
	DUREZA AL CALCIO (COMO ppm de CaCO <sub>3</sub> )	APIA	1160.0	1120.0	88.0	378.0	1800.0	917.0	814.0
	PIERRO (ppm)	EMISION DE PLASMA	< 0.005	< 0.005	16.1	269.1	0.8	0.4	2.9
	MAGNESIO (ppm)	EMISION DE PLASMA	271.5	222.3	83.5	71.0	212.5	147.3	64.3
	ESTRANCIO (ppm)	EMISION DE PLASMA	39.1	42.2	22.5	18.6	43.8	39.5	17.2
	CALCIO (ppm)	EMISION DE PLASMA	687.3	720.1	556.8	283.0	674.8	768.0	318.7
SOLIDOS INSOLUBLES	BARIO (ppm)	EMISION DE PLASMA	0.3	0.4	0.1	0.7	7.4	1.3	0.5
	POTASIO (ppm)	EMISION DE PLASMA	177.0	173.2	110.9	89.4	465.6	296.7	60.2
	SODIO (ppm)	EMISION DE PLASMA	4075.0	3692.0	1682.0	1078.0	7420.0	5099.0	1241.0
	CARBONO (% EN PESO)		48.7				2.6		0.8
	AZUFRE (% EN PESO)	INFRARROJO	11.2						0.4
	CLORO TOTAL (% EN PESO)	IMP-RF-GA 203	7.9				<0.01	0.13	0.04
	CALCIO (% EN PESO)	ABSORCION ATOMICA	1.7					4.7	24.9
	PIERRO (% EN PESO)	ABSORCION ATOMICA	1.7					1.3	17.7
	POTASIO (% EN PESO)	EMISION DE PLASMA	0.38					0.55	2.18
	SODIO (% EN PESO)	EMISION DE PLASMA	6.1					0.6	26.0
OXIDO DE SILICIO (% EN PESO)	BOMBA(DIGESTION)	2.14					17.35	7.05	

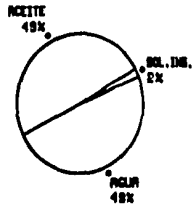
CARACTERIZACION DE SEDIMENTOS EN TANQUES  
DE ACEITE CRUDO ALMACENADO



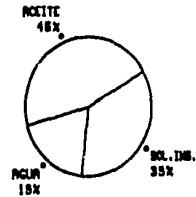
TV-1 AZCAPOTZALCO



TV-2 AZCAPOTZALCO

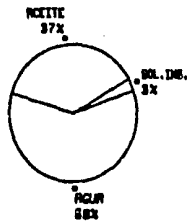


TV-3 AZCAPOTZALCO

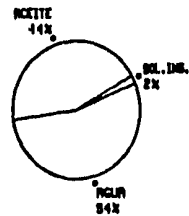


TV-2 TULN

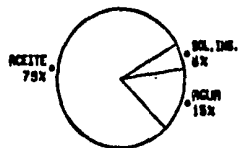
CARACTERIZACION DE SEDIMENTOS EN TANQUES  
DE ACEITE CRUDO ALMACENADO



MJN-330



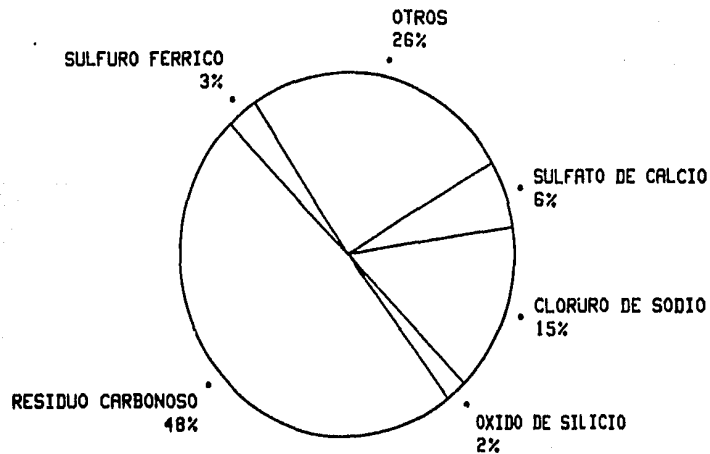
MJN-334



MJN-341

GRAFICA 2

# CARACTERIZACION DE SOLIDOS INSOLUBLES DE ACEITE CRUDO ALMACENADO

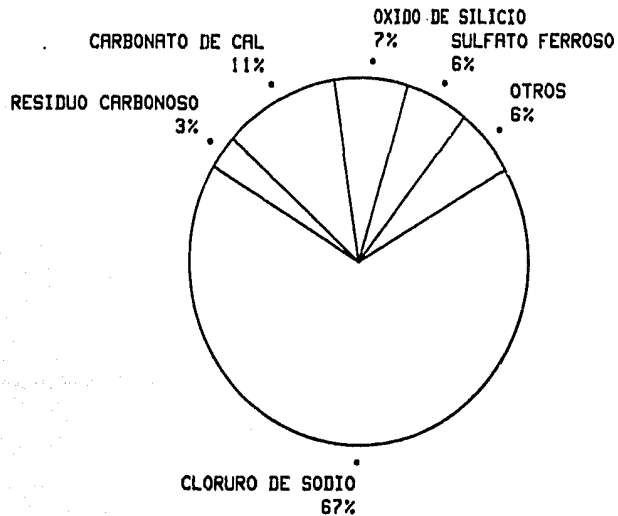


TV-1  
AZCAPOTZALCO

GRAFICA 3



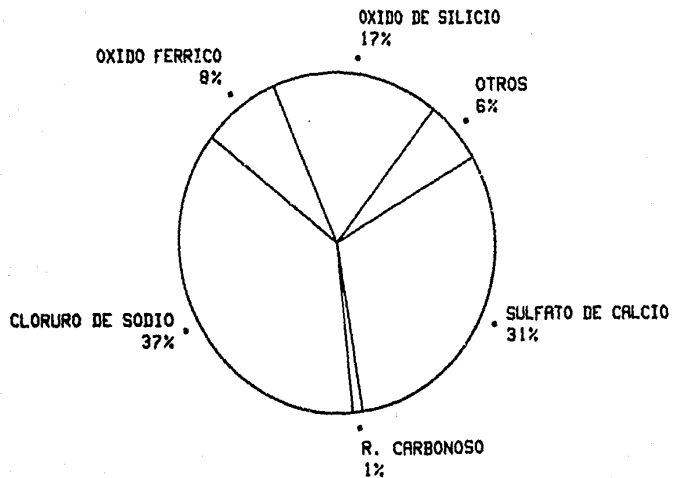
# CARACTERIZACION DE SOLIDOS INSOLUBLES DE ACEITE CRUDO ALMACENADO



MJN-530  
MADERO

GRAFICA 4

# CARACTERIZACION DE SOLIDOS INSOLUBLES DE ACEITE CRUDO ALMACENADO



MJN-541  
MADERO

GRAFICA 5

## ANEXO B

### CONTENIDO

- Tabla 3 .- Determinación del Efecto del Tiempo de Reposos en la Formación de Sedimento.
- Gráfica 6.- Efecto del Tiempo de Sedimentación en la Concentración de Aromáticos.
- Gráfica 7.- Efecto del tiempo de Sedimentación en la Concentración de Aromáticos. (continuación)
- Gráfica 8.- Efecto del Tiempo de Sedimentación en la Concentración de Saturados.
- Gráfica 9.- Efecto del Tiempo de Sedimentación en la Concentración de Saturados. (continuación)
- Gráfica 10.- Efecto del tiempo de Sedimentación en la Concentración de Insolubles en n-C5.
- Gráfica 11.- Efecto del tiempo de Sedimentación en la Concentración de Insolubles en n-C5. (continuación)
- Gráfica 12.- Efecto del Tiempo de Sedimentación en el Punto de Fusión de la Pafarina Extraída.

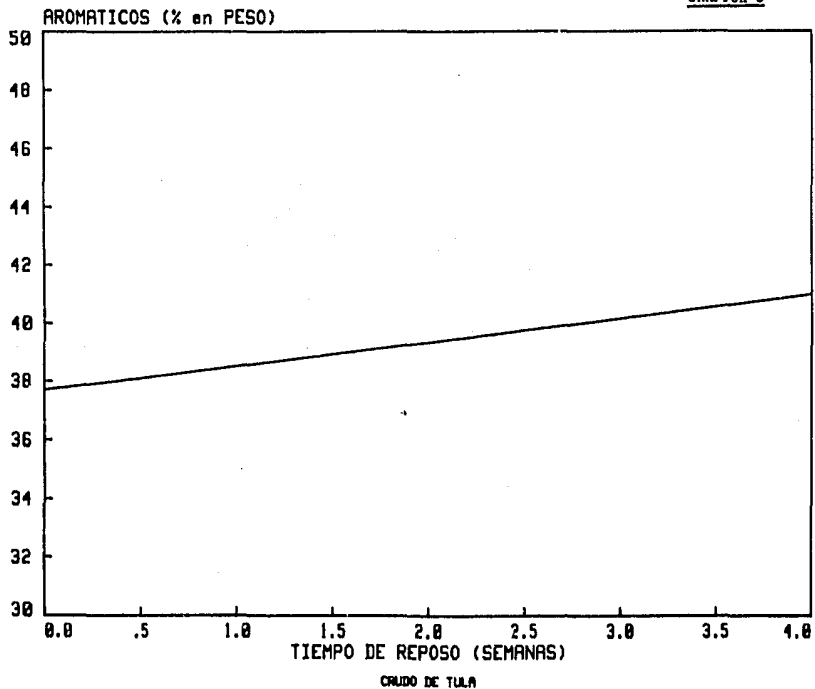
TABLA 3

DETERMINACION DEL EFECTO DEL TIEMPO DE REPOSO EN LA FORMACION DE SEDIMENTOS EN LAS PRUEBAS DE SEDIMENTACION CON TIEMPOS DE REPOSO DE 2,4,6 Y 8 SEMANAS

DETERMINACION	TIEMPO DE REPOSO (SEMANAS)				
	0	2	4	6	8
PESO ESPECIFICO (20/4 °C)	0.882	0.884	0.880	0.882	0.885
AGUA (% EN PESO)	TRAZAS	TRAZAS	TRAZAS	TRAZAS	TRAZAS
ACEITE (% EN PESO)	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9
SOLIDOS INSOLUBLES (% EN PESO)	TRAZAS	TRAZAS	TRAZAS	TRAZAS	TRAZAS
BS & W (% EN VOLUMEN)	2.1	0.4	0.2	0.2	0.2
SALES (LMB COMO NaCl)	30.0	27.0	27.0	25.0	30.0
PUNTO DE ESCURRIMIENTO (°C)	-3.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PUNTO DE FUSION PARAFINA EXT. (°C)	51.2	53.0	54.0	54.0	54.0
DESTILACION HEMPELL					
TIE	36.3	37.3	31.8	38.9	37.4
5 % VOL	110.9	112.9	101.7	102.7	106.8
10 % VOL	145.6	143.5	133.3	134.4	139.5
20 % VOL	200.8	199.7	191.6	192.6	195.7
30 % VOL	252.6	253.8	245.8	248.7	253.8
40 % VOL	302.8	303.8	293.6	298.7	308.8
50 % VOL	342.7	337.7	334.5	338.6	340.8
T° CRACKING	347.7	345.7	345.7	345.7	345.7
%VOL REC.	52.0	54.0	57.0	52.0	52.0
INSOLUBLES EN nC5 (% EN PESO)	<u>8.31</u>	<u>8.29</u>	6.05	5.69	5.69
SATURADOS (% EN PESO)	50.59	48.63	44.55	43.58	43.5
AROMATICOS (% EN PESO)	27.74	30.50	33.71	35.62	38.39
POLARES (% EN PESO)	<u>15.38</u>	14.58	15.69	15.11	12.42

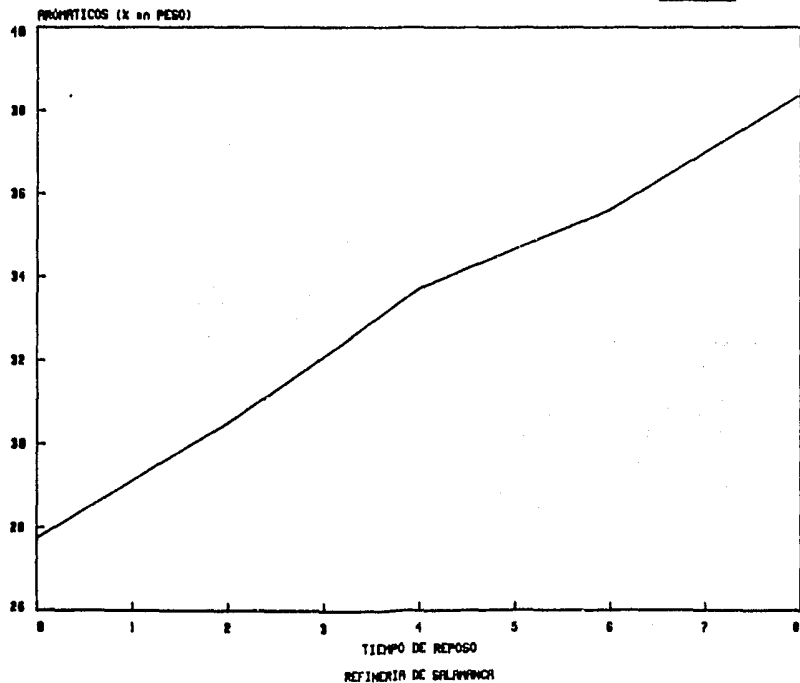
# EFFECTO DEL TIEMPO DE SEDIMENTACION EN LA CONCENTRACION DE AROMATICOS

GRAFICA 6



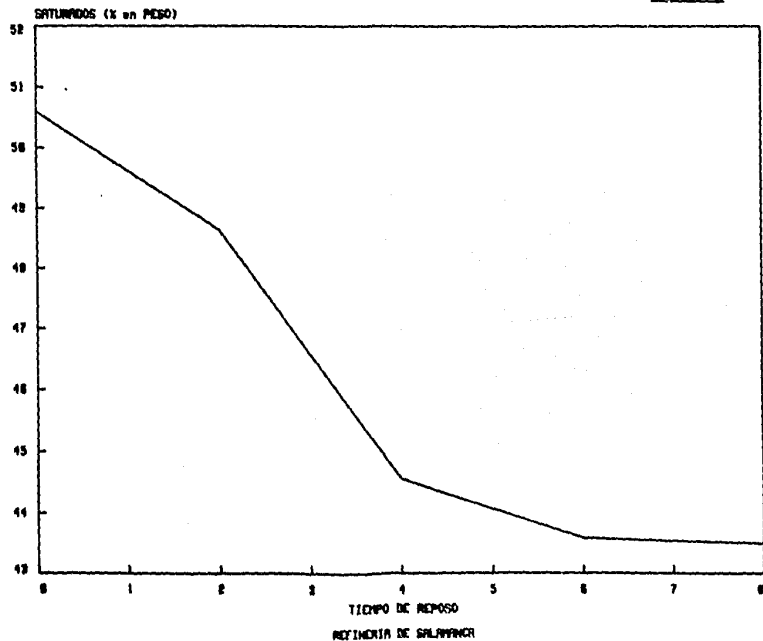
# EFFECTO DEL TIEMPO DE SEDIMENTACION EN LA CONCENTRACION DE AROMATICOS

GRAFICA 7



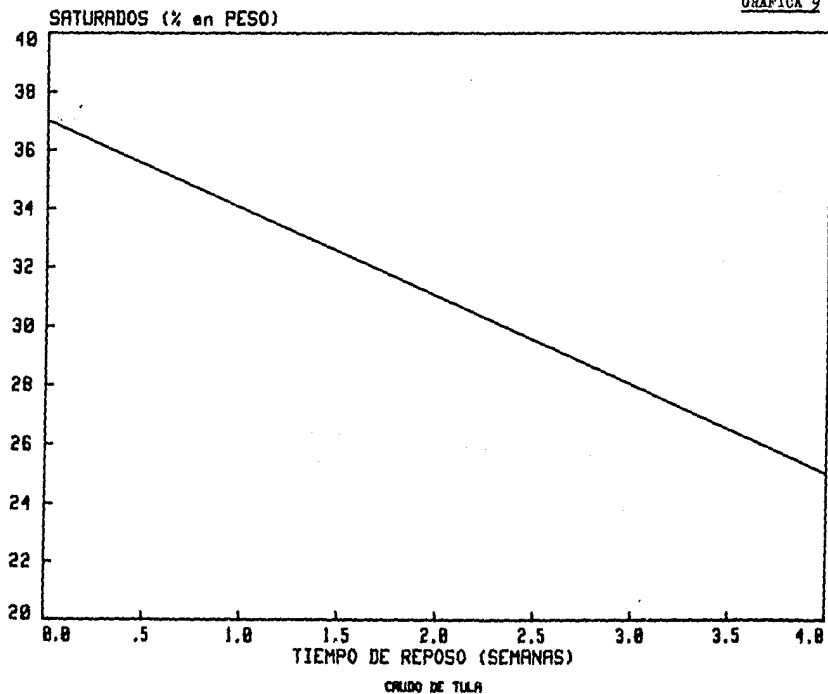
# EFFECTO DEL TIEMPO DE SEDIMENTACION EN LA CONCENTRACION DE SATURADOS

GRAFICA 8



# EFFECTO DEL TIEMPO DE SEDIMENTACION EN LA CONCENTRACION DE SATURADOS

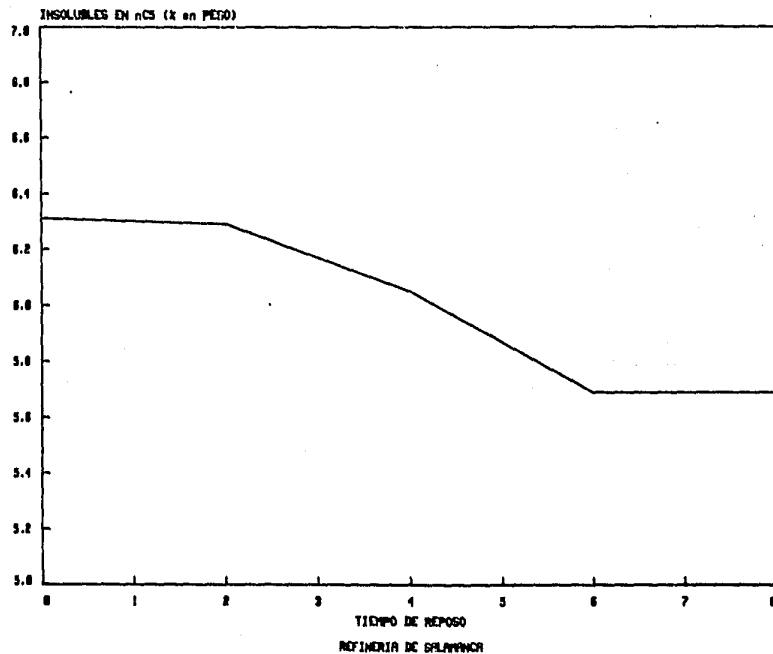
GRAFICA 9





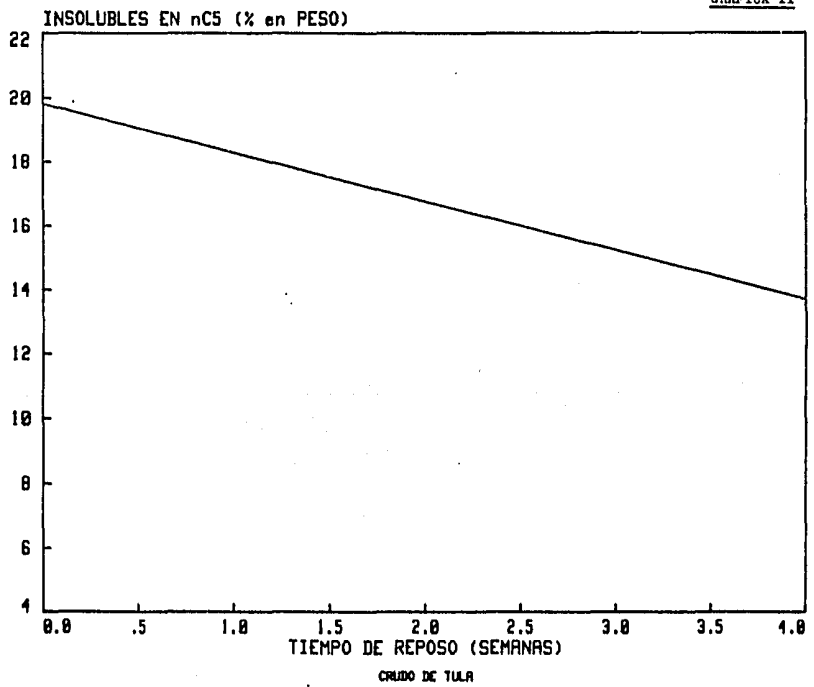
# EFFECTO DEL TIEMPO DE SEDIMENTACION EN LA CONCENTRACION DE INSOLUBLES EN nC5

GRAFICA 10



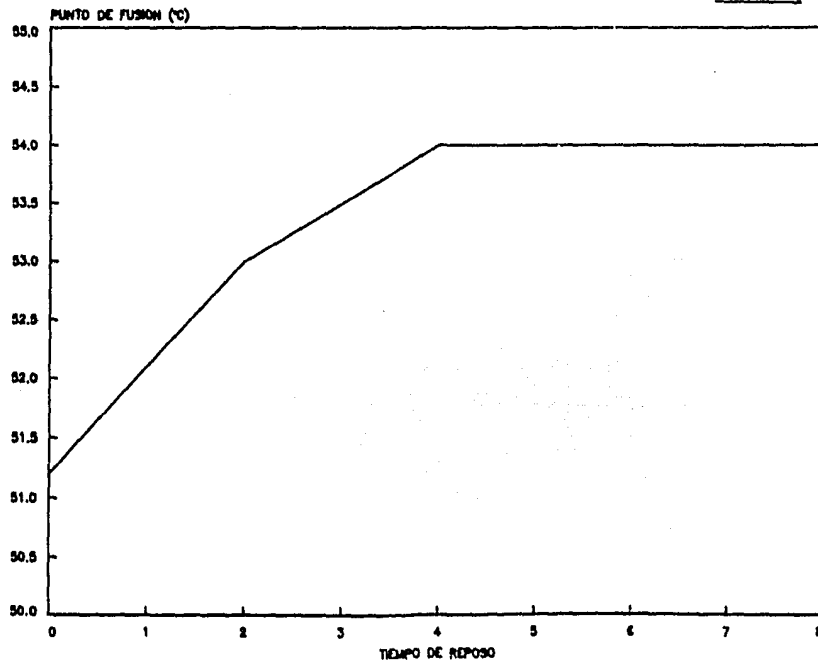
# EFFECTO DEL TIEMPO DE SEDIMENTACION EN LA CONCENTRACION DE INSOLUBLES EN nC5

GRAFICA 11



# EFFECTO DEL TIEMPO DE SEDIMENTACION EN EL PUNTO DE FUSION DE LA PARAFINA EXTRAIDA

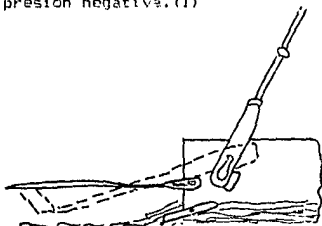
GRAFICA 12



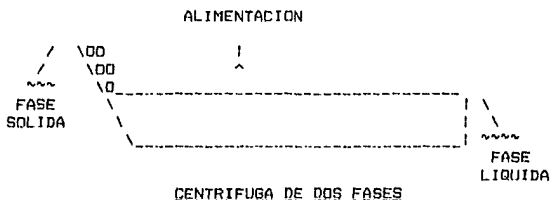
### ANEXO C

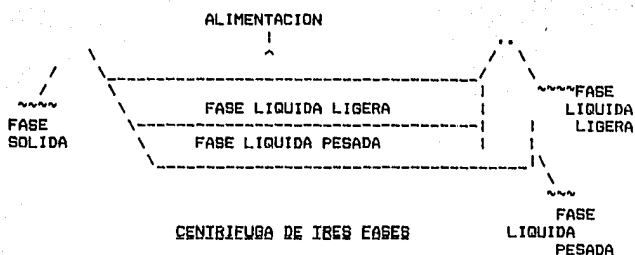
#### Dispositivos Mecánicos Desarrollados para el Tratamiento Correctivo de los Depósitos de Lodo Aceitoso.

- Una pala mecánica para remover lodos de fondos de tanques. Posee dos terminales, una de las cuales posee dos aberturas; a través de una de estas se inyecta un líquido a presión para actuar contra la superficie del lodo permitiendo fluidizarlo mejor. Una vez logrado esto, se va extrayendo el lodo ya fluidizado por la otra abertura mediante presión negativa. (1)

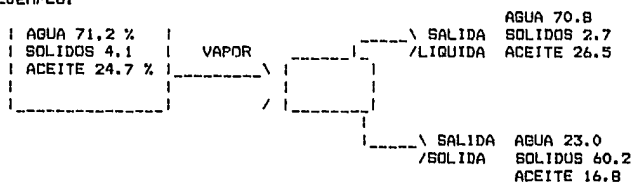


- Una centrifuga que permite: 1) Concentrar los lodos que se originan en las unidades de tratamiento evitando la contaminación de sólidos y reduciendo sus volúmenes para su transportación y manejo en condiciones de estabilidad que permitan su aprovechamiento. 2) Recuperar el aceite que se encuentre adherido a los lodos en cantidades variables, de acuerdo a la unidad de tratamiento que debido a su volumen, puede ser separado para lograr su aprovechamiento. Este equipo separador puede manejarse en dos o tres fases dependiendo del grado de problema de lodo de que se trate. (7)





**EJEMPLO:**



- Un sistema de separación que se basa en la aplicación de vacío y un sifón. (3)

- Un colector de lodos que los pasa por un filtro de tetrafluoroetileno en el que se efectúa la separación de la fase oleosa y el sedimento con el agua. (4)

- Un método de separación de una mezcla agua-aceite-deshechos que consiste en utilizar el efecto denominado de "vórtice" en el que la separación se logra por diferencias de densidades. (6 y 7)

## BIBLIOGRAPHIA

- 1.- Shivata et al  
Device of Removent Sludge From a Surface  
U.S.P.3 808 631  
May 7, 1974
- 2.- Christopher, Jr. et al  
Heater-Treater  
U.S.P. 3 708 960  
Jan. 9, 1973
- 3.- J. Perna  
System For Oil and Water Separation  
U.S.P. 4 203 842  
May 20, 1980
- 4.- Jasek, A. W.  
Automatic Bottom Sediment and Water Indicator  
Canadian Patent 708 744  
May 4, 1965
- 5.- Exxon International Co.  
Crude Washing  
National Technical Information Service  
Jun. 1976
- 6.- Ankersmit, H.J.  
Method For the Separation From each other of the Components of a  
Mixture of Water, Oil and dirt  
U.S.P. 4 264 454  
Apr. 28, 1981
- 7.- Pennwalt  
Sharpless Polymizer Centrifuges  
Bulletin 1300-B
- 8.- Modrey, H.J.  
Sludge Scoop For Oil Tankers  
U.S.P. 3 643 285  
Feb. 22, 1972
- 9.- Kolb, R.H.  
Pipeline Liquid Sampling  
Shell Oil Co.  
U.S.A. 1977
- 10.- Shapiro, A.  
Demulsification of Petroleum  
U.S.P. 2 217 387  
Oct. 8, 1940

- 11.- Meheust, E.E.  
Reconnaissance en Qualite et Cuantite Des Cargasons au  
Chargement  
Petrole et Techniques No. 269,p.p. 36-41  
March, 1980
- 12.- Isacko, A. M.  
Oil Circulating Device For Preventing Sedimentation in Oil  
Storage Tanks  
U.S.P. 3 388 896  
Jun.18, 1968
- 13.- Underwood  
Automatic Emulsion Control  
U.S.P. 3 796 318
- 14.- Hann, T.C.  
Incremental Bitumen Recovery From Tar Sands Waste Water Streams  
Canadian Patent 1 152 918  
Aug.30, 1983
- 15.- Sakagushi, J.  
Oily-Water Separator  
U.S.P. 4 151 087  
Apr. 24, 1979
- 16.- Steve Brown, Ward Rosen  
Oil Treating  
Petroleum Learning Programs LTD  
Houston, Texas  
1983
- 17.- White, Steve R.  
Journal of Petroleum Technology  
Complete Paraffin Control in Petroleum Production  
September, 1969, V.2,p.p. 16-24
- 18.- J.W. Barnett  
Better Ways to Clean Crude Storage Tanks and Desalters  
Hydrocarbon Processing, V.22,p.p. 47-64  
September, 1980
- 19.- Paul L. Bansbach  
The How and Why of Emulsions  
The Oil and Gas Journal, V.10, p.p. 39-48  
Sept., 1970
- 20.- Buris Donald R.  
Dual Polarity Oil Dehydration  
Petroleum Engineering, V.6,p.p. 16-19  
August, 1977

- 21.- Fisher L.E.  
Crude Oil Desalting  
Materials Protection, V.4,p.p.124,125  
May, 1962
- 22.- Weinstein  
Waste Oil Recycling and Disposal  
Industrial Oil Waste Control, V.2, p.p.82-86  
August 1974
- 23.- Rodgers J.C.  
Oil Recovery, now more Important than Ever  
Industrial Oily Control,V. 8,p.p. 40-52  
April, 1975
- 24.- American Petroleum Institute  
Treating Oil Field Emulsions  
3rd. Edition  
1974
- 25.- Bauer Dale  
Treatment of Oily-Wastes- Oil Recovery Programs  
Betz Laboratories, Inc.  
1978
- 26.- Gruette James L.  
Chemical Treatment Helps Refinery Recover Oil From waste  
Hydrocarbon Processing, V.24, p.p. 28-36  
Oct., 1978
- 27.- Canevari Gerard P.  
The Formulation of an Effective demulsifier for Oil spill  
Emulsions  
Marine Pollution Bulletin  
Feb., 1982
- 28.- Nathan C.C.  
How to Evaluate Paraffin Inhibitors  
The Petroleum Engineer, V.32, p.p.18-22  
Nov.,1975
- 29.- Wright John C.  
Studies and Experiments with Paraffin Prevention and Removal  
Petroleum Engineer  
Annual 1971



- 30.- C.Tachers  
Polyethylene Stops Paraffin Deposition  
Hydrocarbon Processing, V.6, p.p. 12-18  
Nov. 21, 1976
- 31.- Cranford Buford  
Como Resolver el Problema de la Parafina  
Instituto Argentino Del Petroleo  
Dic., 1977
- 32.- Becher Paul  
The Determination of Hydrophilic-Lipophile balance  
by Gas Liquid Chromatography  
New Industrial Oil, V.14, p.p. 6-15  
March, 1971
- 33.- Cooper David G.  
The Relevace of HLB to De-emulsification of a mixture of Heavy  
Oil, Water and Clay  
The Canadian Journal of Chemical Engineering  
Vol.10, p.p.26-34  
Oct. 1980
- 34.- Goswammi T.K.  
A Comprehensive Study On Demulsification  
Process in Petroleum Industry  
Petroleum and Hydrocarbons, V.13, p.p.50-54  
October, 1972
- 35.- Hunt Elton B.  
Laboratory Study of Paraffin Deposition  
Journal of Petroleum Technology, V.21,p.p.6-12  
Nov. 1972
- 36.- Mendoll John. L.  
Mechanism of Inhibition of Paraffin  
Deposition in Crude Oil Systems  
Society of Petroleum Engineers of AIME,V.10, p.p.7-13  
May 1970
- 37.- Tissot B. P.  
El Petróleo Su Formación y Localizaci n  
Ciencia y Desarrollo  
2nda. Edici n 1982