

39
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Química

USO Y CONTROL DE LOS LODOS DE EMULSION
INVERSA EN LA PERFORACION DE LOS POZOS
PETROLEROS DEL DISTRITO DEL PLAN, VER.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
MIGUEL ANGEL GOMEZ DIAZ



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

	Página
Introducción	1
Bosquejo del Distrito	3
Organización del Distrito	4
CAPITULO I	
1.1 Generalidades	5
1.2. Funciones y propiedades de los fluidos de perforación	13
1.3. Lodos ligeramente tratados no inhibitorios.	17
1.3.1. Agua Pura	18
1.3.2. Lodos nativos	19
1.3.3. Lodos de agua-bentonita	19
1.3.4. Lodos de agua salada-atapulguita	19
1.3.5. Lodos de fosfatos	24
1.3.6. Lodos ligeramente tratados y dispersados con sustancias orgánicas	25
1.3.7. Lodos de emulsión de petróleo	26
1.4. Sistemas Inhibitorios	30
1.4.1. Lodos tratados con calcio	30
1.4.2. Lodos de yeso	32
1.4.3. Lodos de lignosulfonato	33
1.4.4. Lodos no dispersos de sólidos mínimos.	34
1.4.5. Lodos de emulsión inversa	36

CAPITULO II

2.1. Composición de los lodos de emulsión inversa.	39
2.2. Propiedades de las emulsiones.	41
2.3. Las emulsiones inversas y su uso en la perforación de pozos petroleros.	49
2.4. Composición de diferentes tipos de emulsiones invertidas.	51
2.5. Lodos de emulsión inversa usados en el Distrito del P.Lan, VVer.	55
2.5.1. Sistema Drilex	55
2.5.2. Sistema de lodo Halliburton	64
2.6. Condiciones de trabajo de las emulsiones invertidas.	73
2.7. Evaluación de la calidad de las emulsiones inversas.-	75
2.8.-Evaluación de las emulsiones.	86
2.9. Especificaciones de la calidad de calidad de las emulsiones.	91
2.10. Métodos de preparación.	96
2.11. Procedimientos de evaluación.	98
2.12. Determinación del efecto de la temperatura sobre la reología.	100
2.13. Determinación de la resistencia a la contaminación con arcillas.	101
2.14. Deteminación de la contaminación con agua.	102

2.15.- Determinación del asentamiento de barita	102
2.16. Método vigente para el control de calidad de emulsiones inversas.	106

CAPITULO III.

3.1. Análisis y tratamiento de lodos en el control de problemas durante la perforación	112
Densidad	112
Propiedades reológicas	113
Características de filtración	120
Estabilidad eléctrica	125
Concentración de sal.	125
3.2. Tratamiento y control de los lodos durante los problemas encontrados en la perforación.	128

CAPITULO IV

Estudio económico comparativo	145
-------------------------------	-----

CAPITULO V

Conclusiones	151
--------------	-----

APENDICE.

153

BIBLIOGRAFIA.

161

INTRODUCCION

En los últimos años la industria petrolera ha alcanzado una gran importancia debido a la cantidad de productos que del petróleo son extraídos, lo que la ha convertido en una de las áreas económicas más importantes del mundo actual.

Esta industria se ocupa de producir, procesar y vender el petróleo y el gas.

El petróleo se encuentra en el subsuelo en las rocas sedimentarias reservorias, las cuales están encerradas en trampas.

Una vez que existe la posibilidad de que haya petróleo en cierto lugar (bajo la superficie) la única forma de verificar su existencia es perforar un pozo en su búsqueda.

La perforación de los suelos en una u otra forma era ya conocida desde hace siglos, ya que en China se habían realizado pozos profundos en el año 1100 d.c. (1067 m) para extraer salmuera utilizando un método similar al método de cable. Este método se utilizó en perforaciones petroleras durante el siglo XIX y predominó en las dos primeras décadas del siglo XX. Todavía se emplea hoy en día en pozos poco profundos en formaciones duras. El método de cable consiste en perforar un pozo mediante golpes repetidos con una barrena fija a una sarta de perforación (una tubería larga de acero suspendida de un cable de acero). La sarta provee el peso necesario para forzar la barrena en el interior del suelo: el agujero se mantiene vacío excepto por un poco de agua en el fondo. Después de perforar unos cuantos pies, se retira la barrena y se remueven los recortes con una cuchara de

achique (un tubo abierto con una válvula en el fondo). El método de cable es simple, pero es solamente eficaz para pozos superficiales y el proceso es lento.

Con pocas excepciones, todos los pozos petrolíferos perforados actualmente se hacen por el método rotatorio que fue introducido alrededor de 1900, distinguiéndose este método por dos factores importantes:

- 1.- La barrena gira contra el fondo del pozo.
- 2.- Se hace circular un fluido hacia abajo, por la sarta de perforación a través de la barrena y finalmente hacia arriba por el espacio anular.

El presente trabajo está dirigido hacia el uso y control del fluido de perforación de emulsión inversa que se utilizan en el Distrito El Plan, Ver.

BOSQUEJO DEL DISTRITO

Localización.- El distrito El Plan, Ver., dependiente de Petróleos Mexicanos, se encuentra localizado en la zona sur. Está situado dentro de la cuenca salina del Istmo de Tehuantepec en la parte sur-este del estado de Veracruz y en la región Suroeste del Estado de Tabasco, tiene como límites convencionales los siguientes: al norte con el distrito Agua Dulce, Ver., al sur con la Sierra Madre del Sur; al este con el distrito Comalcalco, Tabasco y al oeste con el distrito Nanchital Ver.

La población más cercana se encuentra al sur a 2.5 km y es la ciudad de las Choapas, Ver.

Topografía.- Se encuentra situado en la llanura costera del Golfo de México, no presentando accidentes positivos de consideración, consistiendo el área de pequeñas elevaciones del orden de los treinta metros, lo que hace considerarla como una topografía irregular de pantanos.

Hidrología.- Se encuentra irrigada la región por cuatro ríos de considerables dimensiones, todos ellos pertenecientes a la vertiente del Golfo de México.

El Uxpanapa, afluente del Coatzacoalcos nace en la Sierra Madre del Sur uniéndosele en su recorrido el río Nanchital a la altura del Cerro Nanchital.

El río Playas que nace en el límite de los estados de Veracruz y Chiapas, desembocando en el río Pedregal el cual nace en el Cerro Mono Pelado.

El río Zanapa sirve como línea divisoria entre los distritos El Plan y Agua Dulce, Ver.

Consideraciones climatológicas.- El clima de la región es cálido, húmedo y sin salinidad, propio de las regiones tropicales dominando los vientos del norte, este y noroeste, los que ocasionan las lluvias, señalándose dos períodos de éstas, uno de Junio-Agosto en el cual son abundantes y otro de Octubre-Marzo - donde la lluvia es constante por ser la temporada de "norte".

La temperatura en tiempo de seca alcanza los 40 grados centígrados a la sombra, siendo la temperatura mínima de 20 grados centígrados en invierno.

Flora.- Está formada por vegetación típica de pantano en algunas áreas, por plantaciones de frutas tropicales y pastizales para ganado en otras y selvas en las estribaciones de la Sierra Madre del Sur.

ORGANIZACION DEL DISTRITO

Existe una superintendencia general del distrito, así como 16 departamentos y 3 jefaturas de campo y bajo la supervisión de ellos se coordinan las actividades técnico-administrativas.

Trabajan un promedio de 6500 personas, clasificándolas-- en personal de confianza y sindicalizado; siendo una parte de planta y la otra transitoria ó eventual.

CAPITULO I

1.1.- Generalidades.

La intensa explotación de los yacimientos petrolíferos, - debido al aumento en la demanda de este producto, a traído como consecuencia que los horizontes productores se encuentran cada vez a mayor profundidad, llegándose a perforar pozos hasta de 8000 m.

Esto ha originado el desarrollo de mejores equipos de perforación y la búsqueda de los flúidos de perforación que cumplan con las funciones necesarias en la perforación a grandes profundidades.

El equipo que se utiliza en la perforación rotatoria se ilustra en la figura No. 1. El implemento lógico para iniciar la descripción del método rotatorio es la barrena, cuya función es perforar un agujero mediante la rotura de la roca subterránea.

La barrena consiste en tres conos tachonados de dientes y montados en cojinetes, y perfora fracturando la roca con los dientes al tiempo que gira en la formación, impartíéndosele una acción de raspado al hacer que los ejes de los conos estén dirigidos ligeramente hacia la izquierda.

Las barrenas triconos se clasifican de acuerdo al tipo de cojinetes y de dientes que tienen. Los tres diseños principales de cojinetes en orden ascendente con respecto a su duración en servicio son: el cojinete de rodillos no sellado, el cojinete se -

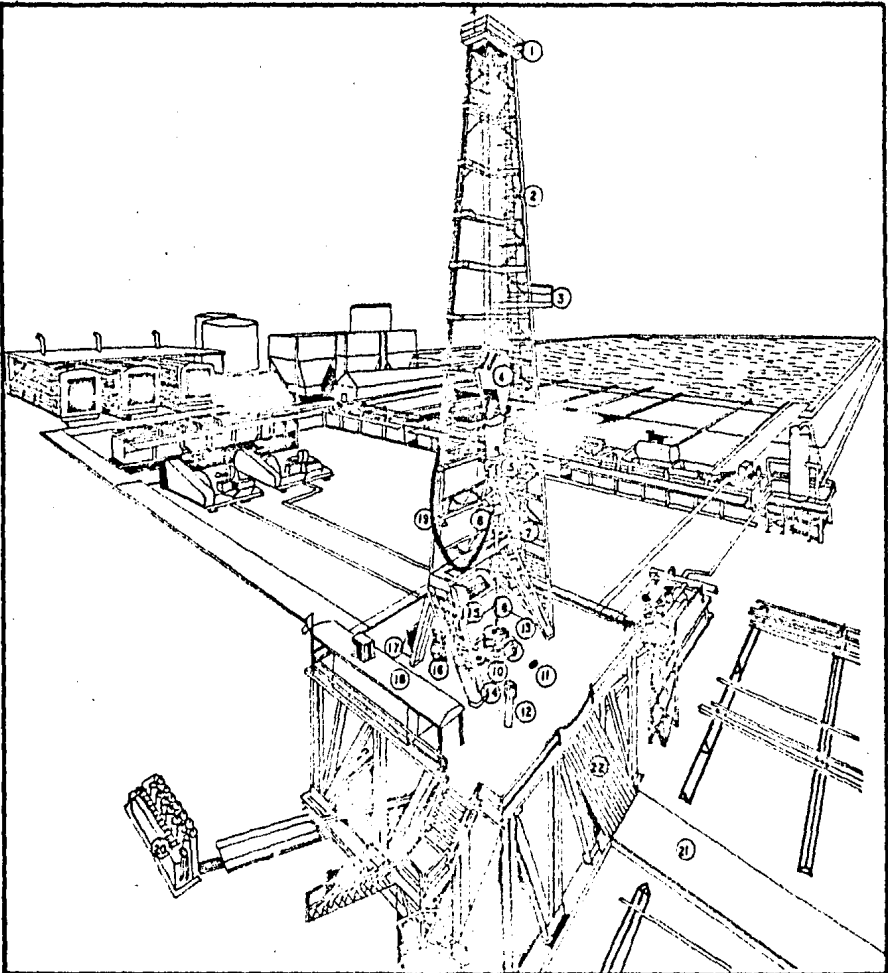
llado y el cojinete Journal. Hay grandes variaciones con respecto a la forma, número y ubicación de los dientes, pero en términos generales se pueden clasificar como barrenas a dientes fresados y barrenas a dientes insertos. Los dientes de una barrena a dientes fresados son elaborados partiendo del material del propio cono, mientras que los dientes de una barrena a insertos son botones hechos con carburo de tungsteno que se insertan en agujeros perforados en los conos. Las barrenas a dientes fresados se usan para perforar formaciones entre blandas y medianamente duras.

Las barrenas a insertos se emplean generalmente en formaciones duras y abrasivas.

Si hay que perforar una formación dura ó abrasiva ó si se desea una vida muy larga de la barrena, se emplea una barrena de diamantes las cuales no tienen modillos, en cambio tienen diamantes de calidad industrial asentados sobre una matriz de acero,

La energía de rotación se transmite a la barrena por medio de la sarta.

La sarta consiste en porciones de tuberías de acero de alta resistencia (tubería de perforación) que tiene aproximadamente 30 ft (9m) de largo y 3-1/2 - 5" (87.5-125 mm) de diámetro. Cada porción llamada junta, tiene una conexión especial de acero (las uniones) que pueden transmitir el torque y sin embargo son conectadas y desconectadas rápidamente, repetidamente y con seguridad. El peso necesario para perforar lo proveen tuberías gruesas llamadas lastrabarrenas situadas en el extremo inferior de la sarta inmediatamente por encima de la barrena. La sarta tam -



- | | |
|---|--|
| 1.. BLOQUE DE CORONA Y CORNISA | 12.. RATONERA O HUECO DE RATA |
| 2.. MASTIL | 13.. LLAVES DE CONTRAPUERZA |
| 3.. PLATAFORMA DEL TORREO O PISO DE ENGANCHE | 14.. TENAZAS O LLAVE DE CADENA |
| 4.. BLOQUE DE APAREJO O BLOQUE VIAJERO | 15.. MALACATE |
| 5.. B A N C H O | 16.. INDICADOR DE PESO |
| 6.. UNION SINATORIA | 17.. CONSOLA DEL PERFORADOR |
| 7.. ELEVADORES | 18.. GALPON DEL PERFORADOR (CASETA) |
| 8.. CUADRANTE (KELLY) | 19.. MANGUERA DE LODO O DE CIRCULACION |
| 9.. BUJE DEL CUADRANTE | 20.. UNIDAD DEL ACUMULADOR |
| 10.. BUJE MAESTRO O BUJE ROTATORIO | 21.. PASILLO |
| 11.. HUECO PARA DEPOSITAR TUBO O HUECO DE RATON | 22.. RAMPA PARA TUBERIA |

Fig. 1

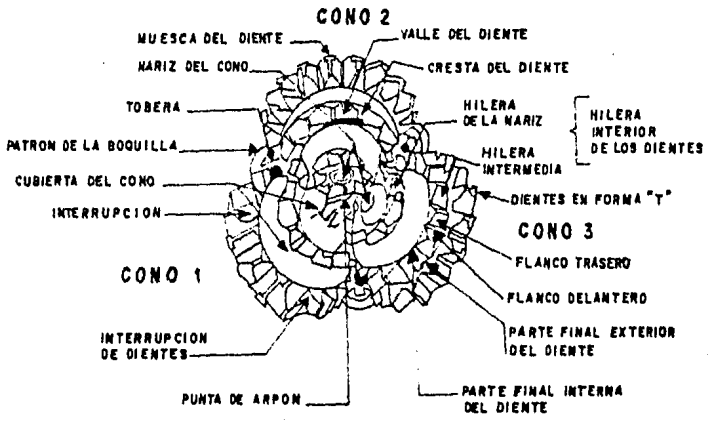
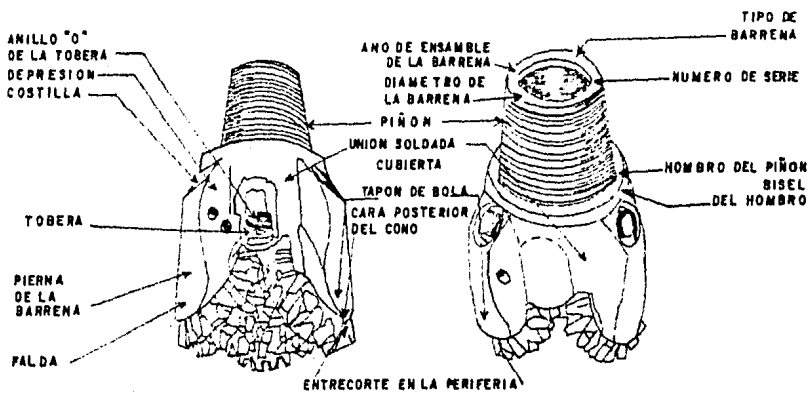
bién provee un medio de circulación del fluido de perforación - (lodo) hasta la barrena y su circulación de retorno hasta la parte superior del pozo.

El equipo rotatorio de superficie hace girar a la sarta - a través de un tramo poligonal de tubería pesada llamado flecha - o Kelly enroscado en la parte superior de la sarta. Dicha flecha pasa a través de un encaje ó alojamiento especial conocido como el buje de la flecha cuya abertura es de la misma forma que la - sección poligonal (generalmente cuadrangular) de la flecha. Por - consiguiente si el buje de la flecha da vuelta la flecha también girará, el buje de la flecha está instalado en la mesa giratoria, que provee el movimiento giratorio primario.

El peso de la sarta debe ser sostenido, desde la superfi - cie. Además, toda la sarta debe ser levantada del pozo cuando la barrena se ha desgastado y debe reemplazarse, procedimiento que - se llama de viaje ó maniobra.

Para realizar estos trabajos se ha diseñado un sistema de aparejos de grandes dimensiones y roldanas múltiples, constituí - do por la corona estacionaria, montada en la parte superior de - la torre, y por una polea móvi! llamada polea viajera, que está suspendida debajo de la corona por un cable metálico muy resis - tente. Este cable está enroscado alrededor del tambor de un car - retel y luego bobinado en las roldanas de la corona y de la po - lea viajera.

El extremo de la línea opuesta al carretel (línea muer - ta) está fijada a la base de la torre. Unido a la polea viajera hay un gran gancho. Cuando se está perforando un dispositivo -



BARRENA DE PERFORACION

Fig. 2

llamado cabeza giratoria está colgada del gancho en un estribo - y la flecha que está a su vez fijada sobre esa cabeza giratoria, permite que el gancho tenga en suspensión a la sarta que es puesta en movimiento por la flecha.

Cuando se realiza un viaje, la cabeza giratoria con la flecha unida a ella, se deja de lado. El elevador se fija por medio de estribos a la espiga del gancho y se le emplea para trabar de allí la tubería, de modo que se le pueda extraer del pozo.

Cuando se realiza un viaje, la tubería se extrae en grupos de tres juntas que reciben el nombre de triples ó lingadas.

Mientras un conjunto es desenroscado del que le sigue, el resto de la sarta queda suspendida en la mesa rotatoria mediante la colocación de un conjunto de calzas articuladas llamadas cuñas, que se deslizan entre la tubería y el pozo de la mesa rotatoria e impiden que la tubería se mueva. Las lingadas son armadas y desarmadas por medio de poderosas llaves. Para desenroscar los tramos se utiliza una cadena de maniobras llamada cadena giratoria. El dispositivo que tira de la cadena y que acciona las llaves cadenas se llama carretel mecánico, el cual tiene unido en la misma espiga un tambor llamado carretel de fricción que sirve para realizar varias tareas por medio de una larga soga enrollada en él, tales como la elevación de pesos livianos.

El eje de carretel es parte de un dispositivo llamado el cuadro de maniobras, máquina o malacate. El cuadro de maniobra comprende también el gran carretel que se emplea para elevar las líneas de perforación.

Sobre el tambor de este carretel está el freno principal, que tiene la capacidad de detener y sostener el gran peso que - representa la sarta. Cuando se bajan cargas muy pesadas, el -- freno principal es ayudado por un freno auxiliar hidráulico ó - eléctrico con el fin de absorber la energía desarrollada por -- la enorme masa de la polea viajera, por el conjunto del gancho- y de la sarta.

Al lado del cuadro de maniobra está la consola de con -- trol de operador donde se maneja el cuadro de maniobra y la ma -- yor parte del equipo.

Por el interior de la sarta se bombea un fluido de perfo -- ración que sale a nivel de la barrena para subir finalmente por el espacio entre la tubería y las paredes del pozo.

Un lugar lógico para comenzar el sistema básico de circu -- lación del fluido de perforación, también llamado lodo de perfo -- ración o simplemente lodo, es a nivel de las bombas de lodo, - que son el corazón del sistema. Esas bombas son generalmente - de doble efecto, de dos ciclos y sus pistones trabajan con cami -- sas reemplazables. Las bombas duplex pueden y deben ser capaces de mover grandes volúmenes de fluido a presiones de hasta 4000- psi. En años recientes se han hecho más populares las bombas - triplex de efecto único ya que son más compactas por lo que ne -- quiere menos espacio, y en algunos casos son capaces de mover-- volúmenes mayores de lodo a presiones más elevadas.

Desde la bomba el lodo va a la columna reguladora que -- consiste de un tramo de tubería vertical anexa a la torre. El -

lodo entra entonces a la cabeza giratoria por vía de la manguera de la flecha ó mangera rotatoria y luego hacia abajo a todo lo largo de la sarta hasta llegar a la barrena la cual está equipada usualmente con tres boquillas llamadas toberas que hacen que el lodo sea expulsado a alta velocidad permitiendo así que los dientes de la barrena queden libres de recortes. El lodo sigue hacia arriba por el espacio anular entre la sarta y las paredes del pozo arrastrando con él los recortes.

En la superficie, el lodo junto con los recortes fluye hacia afuera y va a parar a los vibradores por medio de una tubería vertical llamada la línea o tubería de descarga. Los vibradores son mallas vibratorias en donde se separan los recortes más grandes y el lodo remanente va a parar a la presa de asentamiento que es generalmente un tanque de acero grande y rectangular, abierto y sin agitación en el cual asientan los recortes más finos.

Desde la presa de asentamiento el lodo avanza hacia unas presas que se emplean para fines de almacenamiento y tratamiento. Estas presas están equipadas con mezcladores a paleta ó con pistolas de lodo con el fin de mantener el lodo bien mezclado. Generalmente se coloca en dichas presas equipo adicional para la remoción mecánica de sólidos ó para la eliminación de gases que consiste en un eliminador de sedimentos para separar las partículas muy finas, un desarenador para separar las partículas más gruesas y una centrífuga que elimina todo residuo con excepción de los sólidos más costosos de alta densidad que se utilizan precisamente para elevar la densidad del lodo. El dispositivo para la eliminación de gases llamado desgasifica -

dor, separa el gas atrapado para evitar que circule junto con el lodo. Sobre esas presas está también un embudo para mezclar materiales secos (arcillas, materiales densificantes y otras sustancias químicas) que deben añadirse al lodo. El ciclo comienza nuevamente cuando la bomba toma el lodo de la presa de succión para hacerlo recircular.

1.2.- Funciones y propiedades de los flúidos de perforación.

El flúido de perforación, originalmente considerado como un vehículo para transportar los recortes a la superficie en la perforación rotatoria, actualmente se conoce como uno de los factores principales para el éxito de las operaciones. La velocidad, eficiencia, seguridad y costo de la perforación, dependen del comportamiento del flúido de perforación empleado.

El término flúido incluye a los líquidos y a los gases. Un flúido de perforación que es fundamentalmente líquido se denomina lodo de perforación ó simplemente lodo.

El aire, el gas y la espuma son flúidos neumáticos de perforación y se emplean en casos especiales como por ejemplo en áreas en que las formaciones duras contienen una cantidad relativamente pequeña de flúido de formación ó en áreas en donde la pérdida de circulación severa constituye un problema serio.

Un lodo es típicamente una suspensión de sólidos en un líquido, El líquido en el cual todos esos materiales están suspendidos es la fase continua del lodo. Las partículas sólidas ó los glóbulos líquidos en él suspendidos constituyen la fase discontinua del lodo.

La razón principal para la viscosidad de un lodo hay que buscarla en la fase discontinua. Un aumento en la concentración de la fase continua tiende a adelgazar el lodo. El filtrado proviene en su mayor parte de la fase continua, mientras que el enjarre se forma a partir de la fase discontinua.

La fase continua de un lodo es siempre líquida, en cambio en la fase discontinua se puede hallar sólidos, líquidos ó gases.

No existen dos lodos iguales, aún en el caso en que los lodos sean inicialmente muy semejantes, los efectos diversos de los elementos de la formación y el manejo que se haga de los lodos en la superficie introducirán diferencias.

Actualmente existe un amplio rango de variedades de lodos clasificándolos en base a la fase continua y discontinua.

Dentro de las funciones básicas que debe desempeñar un lodo tenemos:

- 1.- Transportar los recortes de perforación y los derrumbes a la superficie.
- 2.- Mantener en suspensión a los recortes y derrumbes en el espacio anular cuando se detiene la circulación.
- 3.- Controlar la presión subterránea.
- 4.- Enfriar y lubricar la barrena y la sarta.
- 5.- Dar sostén a las paredes del pozo.
- 6.- Ayudar a suspender el peso de la sarta y del revestimiento.

- 7.- Transmitir potencia hidráulica sobre la formación, por debajo de la barrena.
- 8.- Proveer un medio adecuado para llevar a cabo los perfilajes de cable.

Para llevar a cabo esas funciones deben minimizarse los siguientes efectos colaterales:

- 1.- Daño a las formaciones subterráneas, especialmente a las que pueden ser productivas.
- 2.- Corrosión de la sarta y del revestimiento.
- 3.- Reducción de la velocidad de penetración.
- 4.- Problemas de presiones de succión, de pistón y de presión de circulación.
- 5.- Pérdida de circulación.
- 6.- Pegamiento de la sarta contra las paredes del pozo.
- 7.- Erosión de la superficie interna del pozo.
- 8.- Retención de sólidos indeseables por el lodo en las presas.
- 9.- Desgaste de las partes de la bomba.
- 10.- Contaminación con las lechadas de cemento.
- 11.- Contaminación del ambiente natural.

El lodo apropiado para un pozo es aquél que es más económico en la perspectiva total de seguridad, costos de perforación, y eventualmente, costos de producción. Un bajo costo inicial del lodo puede a la larga resultar muy costoso si da por resultado-

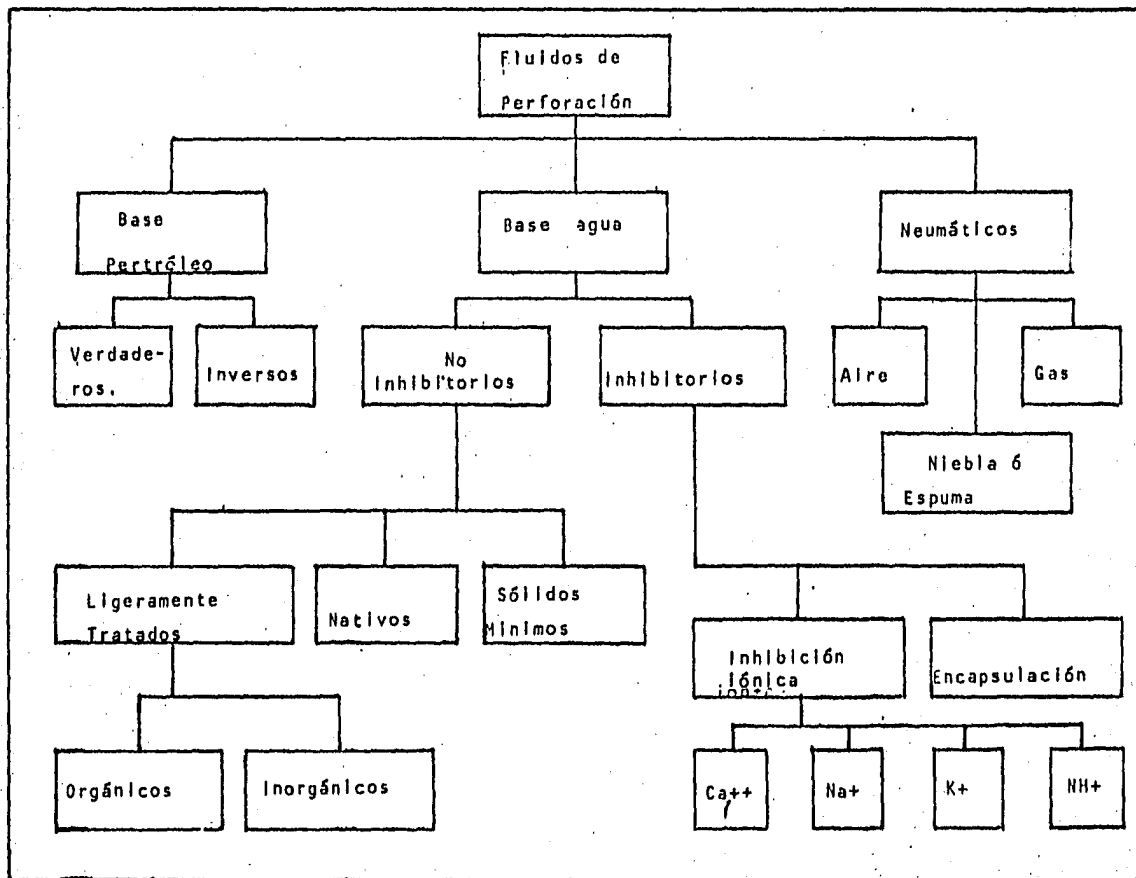


Tabla 1.1.- Tipos de lodos de perforación.

problemas posteriores en la perforación ó en la producción. Las condiciones locales ejercen un impacto importante sobre la elección del lodo más económico para cada pozo en particular.

La parte líquida de un lodo es generalmente agua, aceite ó una mezcla estable de ambos. Un lodo de base aceite se caracteriza porque su parte líquida continúa es aceite ó más frecuentemente una emulsión de agua en aceite (llamada emulsión inversa). Si la porción líquida continúa es el agua, se trata de una emulsión de aceite en agua y en ese caso el lodo es de base agua.

Los lodos de base agua son los más frecuentemente usados, varían desde los lodos nativos (no tratados), pasando por los ligeramente tratados, hasta los más intensamente tratados, los lodos inhibitorios de base agua.

1.3.- Lodos ligeramente tratados no inhibitorios.

Este tipo de lodos son simples y poco costosos. Los aditivos comerciales se limitan a viscosificantes, dispersantes, sosa cáustica y tal vez algo de barita.

La enorme mayoría del metraje perforado ha sido hasta ahora con estos lodos. Esto es particularmente cierto a profundidades hasta aproximadamente 1000m. Sus limitaciones se hacen evidentes cuando aparecen formaciones dificultosas, contaminación marcada, temperaturas por arriba de 105°C ó densidades de lodo por encima de 1.08 g/cm³. Un lodo inhibitorio se comporta mejor cuando existen esas condiciones.

Los lodos ligeramente tratados se dividen en: agua pura, lodos nativos, lodos de bentonita y agua, lodos de atapulguita y agua salada, lodos de fosfatos y lodos ligeramente tratados con reductores orgánicos de viscosidad.

1.3.1.- Agua Pura.

El agua pura es a veces el mejor fluido para perforar formaciones duras, compactas y con presiones vecinas a la normal. El agua empleada varía entre agua dulce y salmuera saturada, dependiendo de la disponibilidad de agua y de la naturaleza de las formaciones.

Se emplean velocidades anulares elevadas para limpiar el pozo; se las suplementa a veces con barridos ocasionales con tapones viscosos (pequeñas porciones de lodo de alta viscosidad que se bombean para limpiar el pozo de recortes y luego se descartan).

A veces se añade sosa cáustica para control de la corrosión.

Una forma eficiente de remover los sólidos en fluidos de agua pura es la sedimentación.

La superficie de sedimentación debe ser lo suficientemente grande, de modo que haya tiempo adecuado para que se produzca la sedimentación.

Los floculantes químicos aceleran la sedimentación. Para obtener los mejores resultados, el floculante debe ser mezclado en diesel ó cuidadosamente mezclado en agua, y luego introducido

por goteo en la línea de descarga a nivel del niple de campana. Este procedimiento permite que el floculante se mezcle bien dentro del lodo antes de alcanzar el área de sedimentación, que no está agitada.

1.3.2.- Lodos nativos.

En algunas áreas, las formaciones perforadas contienen arcillas o lutitas productoras de lodo. Cuando se bombea agua hasta el fondo durante la perforación del pozo regresa barrosa (lodosa). La viscosidad va aumentando con la circulación continua y el resultado es un lodo nativo. La dilución evita que el lodo se haga demasiado viscoso. Se puede añadir cantidades pequeñas de bentonita para mejorar la pérdida de filtrado natural. También se agrega so sa cáustica para el control de la corrosión.

1.3.3.- Lodos de agua-bentonita.

La bentonita y el agua dulce producen un lodo de buena capacidad de acarreo, características favorables de reducción de viscosidad por corte y buen control de pérdida de filtrado. Este es un lodo de iniciación de empleo frecuente.

Las propiedades del agua son importantes. La presencia de sal y la dureza en el agua interfieren con la hidratación de la bentonita y reducen su eficacia. La dureza de calcio se elimina del agua por adición de carbonato de sodio. El pH se mantiene normalmente en el rango de 8.0 y 9.5

1.3.4.- Lodos de agua salada-atapulguita.

Los lodos de agua salada - atapulguita ofrecen ventajas cuando no hay agua dulce de fácil acceso, cuando el control de

Tabla No. 2.1

F U N C I O N E S :		AGUA	ACEITE	GASES	LODO	LODO AEREADOS	ESPUMAS
LIMPIAR	LIMPIAR EL FONDO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
EL	SUSPENDER LOS RE CORTES	NO	NO	NO	SI	SI	SI
AGUIJERO	SACAR LOS RECORTES	"	"	"	SI	SI	SI
	ELIMINAR LOS RECOR TES.	**	*	**	SI	SI	**
ENFRIAR	LA BARRENA	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	EL FLUIDO	**	SI	**	SI	SI	**
	LUBRICAR LA SARTA DE PERFORA CION Y LA BARRENA	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	ENJARRAR LAS PAREDES DEL AGU JERO	NO	NO	NO	SI	SI	NO
	EVITAR REVENTONES	LIMITADA	NO	NO	SI	SI	NO
	EVITAR PERDIDAS DE CIRCULACION	NO	NO	SI	SI	SI	SI
	EVITAR DERRUMBES	NO	LIMITADA	NO	SI	SI	NO
	EVITAR PEGADAS DE TUBERIA	NO	LIMITADA	LIMITADA	SI	SI	SI
	PROTEGER ZONAS PRODUCTORAS	NO	SI	SI	SI	SI	SI
	PROTEGER LAS MUESTRAS Y NUCLEOS	NO	SI	SI	SI	SI	SI
	AYUDAR A LA TOMA DE REGISTROS ELECTRICOS	SI	LIMITADA	NO	SELECTIVA	SELECTIVA	LIMITADA
	COADYUVAR A LA RAPIDEZ DE PERF.	SI	LIMITADA	SI	SI	SI	SI

SATISFACCION DE LAS FUNCIONES POR LOS DIFERENTES FLUIDOS DE PERFORACION

* DEPENDE DE LA CAPACIDAD DEL EQUIPO SUPERFICIAL

** SI SE UTILIZA UNA SOLA VEZ.

la pérdida de filtrado no es un factor importante y cuando el agua salada por sí sola no provee una adecuada densidad ó una limpieza adecuada del pozo.

Se clasifican de acuerdo a la cantidad de sal presente y/o la fuente del agua de su constitución.

Cantidad de sal en ppm:

- 1.- Lodos saturados de sal (315,000 ó más).
- 2.- Lodos salados (más de 10,000 pero no saturados).

Fuente del agua de su constitución:

- 1.- Lodos de agua salobre.
- 2.- Lodos de agua de mar.

Los lodos saturados de sal se emplean para perforar secciones masivas de sal, para evitar el lavado de esas secciones. Los lodos de agua dulce se convierten en lodos de agua saturada de sal por adición de sal a los mismos hasta alcanzar el nivel de saturación.

Los lodos salinos no saturados son generalmente un resultado de usar agua de mar ó agua salobre, ó de tolerar la sal que se encuentra durante la perforación. Ocasionalmente se añade sal a un lodo con el fin de controlar la resistividad.

La sal puede ser añadida a propósito en incrementos desde 10,000 a 315,000 ppm con el fin de inhibir lúttas bentoníticas.

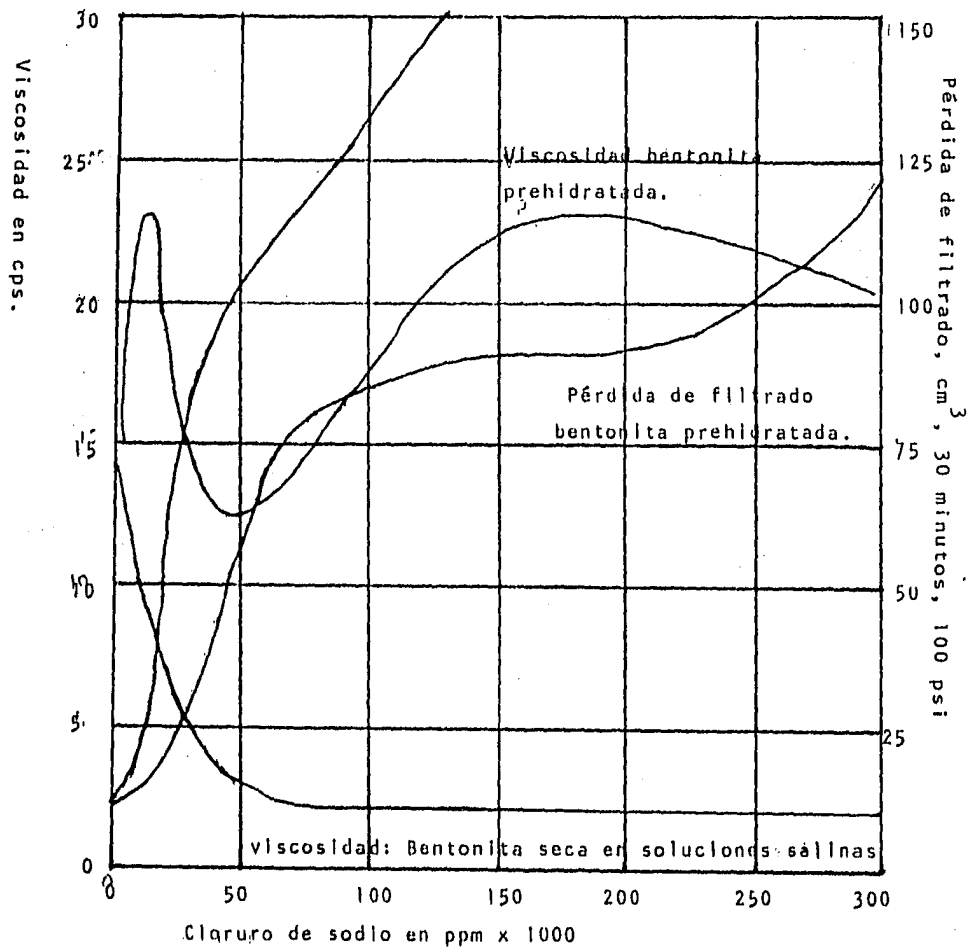
Los efectos que la sal ejerce sobre un lodo dependen de la cantidad de sal en el lodo, del tipo y porcentaje de sólidos y de si la sal es añadida al lodo ó las arcillas añadidas al agua salada.

La sal actúa como un contaminante en los lodos de agua dulce aún en pequeñas cantidades, produciendo un aumento de viscosidad, resistencia de gel y pérdida de filtrado. Sin embargo, los lodos de agua dulce y bajo pH pueden ser exitosamente tratados por medios químicos para tolerar la contaminación con sal, logrando así que se mantengan las propiedades de flujo y características de filtración satisfactorias.

A medida que las concentraciones de sal aumentan por encima de 10,000 ppm resulta cada vez más difícil controlar las propiedades de los lodos y puede ser necesario convertir el lodo a otro tipo más resistente a la sal, por ejemplo tratado con calcio ó lodo de lignosulfonato.

Las arcillas secas del tipo de la montmorilonita, cuando se añaden a un lodo que contiene más de 10,000 ppm de sal, muestran una hidratación y dispersión mucho menor. Cuando la concentración de sal alcanza valores de 50,000 ppm ó superiores, la viscosidad y el control de filtrado derivado de la bentonita y de la arcilla de primera se hace insignificante.

Las arcillas del tipo montmorilonita pueden prehidratarse antes de añadirlas al agua salada. El catión sodio (proveniente de la sal) provoca floculación de la arcilla hidratada, originando viscosidad con la adición mínima de arcilla. Con el tiempo



Gráfica 1.1.- Efecto del cloruro de sodio sobre mezclas de bentonita.

po la acción de masa del ión sodio sobre la bentonita hidratada hace que se encojan las plaquetas de arcilla, se libera entonces agua y eso determina una disminución de la viscosidad. La adición de más bentonita prehidratada es necesaria entonces para mantener la viscosidad deseada.

Debido al ambiente floculado en los lodos salados, la velocidad de filtración es con mayor frecuencia extremadamente alta lo que hace necesario el empleo de aditivos para control de filtrado como tratamiento suplementario.

1.3.5.- Lodos de fosfatos.

Los fosfatos son potentes reductores de la viscosidad en lodos de agua dulce, cuando la temperatura del pozo no excede los 80 °C.

La conversión de un lodo de agua dulce-bentonita ó de un lodo nativo a un lodo de fosfato se obtiene agregando al lodo pequeñas cantidades, usualmente no mayores de 0.6 kg/m³ de tetrafosfato de sodio ó de pirofosfato ácido de sodio.

El pH de los lodos de fosfatos se mantiene entre 8.0 y 9.5, la sosa cáustica en caso de aplicarla al mismo tiempo debe añadirse en forma separada. Si se desea una mayor viscosidad ó control de filtrado, se agrega bentonita. La viscosidad y la resistencia de gel disminuyen mediante pequeños tratamientos con fosfato ó por dilución.

Los lodos de fosfato combaten fácilmente la mayoría de las contaminaciones con calcio, si bien los tratamientos con fosfato

pueden tener que intensificarse cuando se está perforando cemento, yeso ó anhidrata. La contaminación con sal generalmente requiere la adición de dispersantes especiales que toleran la sal.

A temperatura de 80°C ó superiores, los fosfatos se transforman en ortofosfatos, que actúan como floculantes más que como dispersantes.

1.3.0.- Lodos ligeramente tratados y dispersados con sustancias orgánicas.

Los dispersantes ó reductores de viscosidad de naturaleza orgánica se añaden a los lodos para reducir la viscosidad y la resistencia de gel y para mejorar el control de filtrado. Algunos de ellos son eficaces tanto en agua dulce como en agua salada, utilizándose mayores cantidades en lodos de agua salada.

La conversión a un lodo ligeramente tratado y dispersado con sustancias orgánicas es generalmente gradual, comenzando con 1.5 kg/m³ de dispersante y aumentando el contenido del mismo hasta llegar a un total de 5.6 a 11.2 kg/m³.

Estos dispersantes requieren un ambiente alcalino para hacerse activos, excepto en el caso de los dispersantes caustificados. Los tratamientos con dispersantes orgánicos tienen su mayor eficacia cuando el dispersante es mezclado en una solución de sosa cáustica y luego se añade al lodo. Los tratamientos por el embudo también son eficaces cuando el pH del lodo es lo suficientemente alto. Un pH de 8.5 es adecuado en la mayoría de los casos.

Si se considera conveniente aumentar la viscosidad ó lo -

grar un mejor control de filtrado se añade bentonita la cual debe ser prehidratada en agua dulce cuando se emplea como un viscosificante en lodos de agua salada.

Otra actividad de mantenimiento incluye el tratamiento con dispersantes ó la disminución de la concentración de sólidos con el propósito de reducir la viscosidad ó la resistencia de gel.

Para combatir la contaminación con calcio se usan el carbonato de sodio, el bicarbonato de sodio ó los fosfatos. Los tratamientos con dispersantes y la dilución ayudan a reducir a un mínimo los efectos de la contaminación con sal.

El pH de los lodos ligeramente tratados y dispersados con sustancias orgánicas se mantiene en el rango de 8.0 a 9.5 un lodo de bajo pH, ó en el rango de 11.0 a 12.0 un lodo de alto pH. Los lodos de alto pH aumentan la actividad de los dispersantes y resisten mejor la contaminación. Sin embargo, tienden a costar más que los lodos de bajo pH y las cuadrillas de trabajo de campo encuentran más difícil trabajar con ellos, ya que producen quemaduras si entran en contacto con la piel.

1.3.7.- Lodos de emulsión de petróleo.

El diesel ó el petróleo crudo constituyen posibles adiciones a cualquier sistema de lodo para mejorar su lubricidad, con lo que se logra un aumento en la penetración y una reducción en la torsión. Se emplea diesel en el rango de 6 a 10% en volumen.

Descripción.- Se añade diesel a un buen lodo de agua ar-

cilla, un agente emulsionante y suficiente agitación para dar origen a una emulsión, el diesel es la fase interna y el agua es la fase externa.

Agentes emulsionantes:

- A. Sólidos: arcillas, almidones, carboximetilcelulosa, sólidos de perforación, etc.
- B. Taninos, lignosulfonatos, lignitos, etc.
- C. Detergentes, sustancias tensoactivas, jabones, etc.

Tipos de petróleos que se emplean.

A. Especificaciones: petróleo diesel

1. Número de anilina elevado (155 ó más).
2. Peso específico de 28 a 30 API.
3. Alto punto de inflamación.
4. Bajo punto de congelación.

B. Petróleo crudo.

1. Número de anilina elevado (155 ó más por lo general desconocido).
2. Bajo peso específico.
3. Ausencia de contaminantes como agua salada, tretolite (dese-mulsionante), etc.

C. No-glow y drilease son petróleos especiales que no fluorescen. No deben añadirse jabones de sodio a una emulsión hecha con este tipo de petróleo ya que dan fluorescencia.

EFFECTOS DEL DIESEL SOBRE LA DENSIDAD DEL LODO.
 TABLA No. 3.1

Diesel Añadido bbl/100 bbl Lodo	Diesel en el Lodo resultante % en Vol.	Densidad del lodo resultante									
0	0	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1	10	10.9	11.9	12.9	13.9	14.9	15.9	16.9	17.8	
5	4.8	9.8	10.8	11.7	12.7	13.7	14.6	15.6	16.5	17.5	
8	7.4	9.7	10.7	11.6	12.5	13.5	14.1	15.3	16.3	17.2	
10	9.1	9.7	10.6	11.5	12.4	13.3	14.4	15.2	16.0	17.0	
11	9.9	9.7	10.6	11.5	12.4	13.3	14.2	15.1	16.0	16.9	
13	11.5	9.6	10.5	11.4	12.3	13.2	14.0	14.9	15.8	16.7	
15	13.1	9.5	10.4	11.3	12.2	13.0	13.9	14.7	15.7	16.5	
18	15.3	9.5	10.3	11.2	12.0	12.9	13.7	14.5	15.4	16.2	
20	16.7	9.4	10.3	11.1	12.0	12.8	13.6	14.4	15.3	16.1	
25	20	9.3	10.1	11.0	11.7	12.5	13.3	14.2	15.0	15.8	

REDUCCION DE LA DENSIDAD DEBIDA A LA ADICION DEL DIESEL

$$\text{DENSIDAD FINAL} = \frac{(\% \text{ diesel} \times \text{dens. diesel})}{100} - (100 \times \text{dens. inicial del lodo})$$

DEL LODO (ppg)

$$\% \text{ diesel} - 100$$

Densidad del Diesel = 0.84

Procedimiento de campo.-

- a. Añadir el diesel a un buen lodo, el cual debe estar bien de dispersantes.
- b. Mientras se esta añadiendo el diesel se puede agregar también el agente emulsionante.
- c. El diesel reducirá la densidad del lodo. Si la densidad es crítica se debe añadir barita.
- d. Generalmente se agrega agua junto con el diesel para ayudar a controlar la viscosidad.
- e. Para mantener el diesel emulsionado, se requiere agitación suficiente para romper los glóbulos de diesel y un agente emulsionante.

Ventajas:-

- a. Disminuye la pérdida de filtrado.
- b. Aumenta la velocidad de penetración.
- c. Hace que el pozo sea más resbaladizo, con lo que se reduce la posibilidad de una sarta aprisionada.
- d. Aumenta la vida de la barrena al reducir la fricción.
- e. Ahorra energía y reduce la torsión.
- f. Ahorra tiempo de funcionamiento del equipo.
- g. Evita el embolamiento de la barrena.
- h. Mejora la uniformidad de calibre del pozo, aumenta la velocidad anular del lodo debido a la menor cantidad de lavados.
- i. Ayuda a proteger la zona productiva, a bajar la tensión superficial del filtrado y a reducir la pérdida del mismo.
- j. Reduce la pérdida de circulación.

Precauciones.-

- a. Los emulsionantes de jabón sódico no deben usarse en los lodos densificados que contienen calcio soluble ya que pueden causar engrasamiento de la barita.
- b. Cuando se añade diesel puede producirse espuma, la cual constituye un problema serio cuando se trata de lodos con bajo contenido de sólidos.
- c. Verificar si hay aire atrapado debido a una disposición defectuosa de las pistolas y del embudo.
- d. Si los sólidos son bajos agregar arcillas comerciales.
- e. Los antiespumígenos se emplean sólo como último recurso.
- f. El diesel se debe añadir antes de perforar formaciones de lutitas fáciles de desprender. Esto hace que el diesel esté bien emulsionado antes de tomar contacto con las lutitas de la formación y de hacer cambiar las características del enjambre.
- g. Los lodos salados son más difíciles de emulsionar con diesel. En tales situaciones puede ser necesario el uso de un agente tensoactivo preparado especialmente para emulsiones en agua salada.

1.4.- SISTEMAS INHIBITORIOS.

1.4.1.- Lodos tratados con calcio.

Actualmente se están usando tres tipos de lodos tratados con calcio, a los cuales se les da un nombre distinto según cual sea la fuente de calcio: lodo de cal, lodo de yeso y lodo de cloruro de calcio, con los respectivos símbolos químicos: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - CaSO_4 y CaCl_2 .

El propósito de añadir calcio al lodo es convertir las arcillas sódicas en arcillas cálcicas. Este intercambio de bases de un catión monovalente de sodio a un catión bivalente calcio con su mayor potencia de enlace, tiende a que las plaquetas de arcilla se mantengan más unidas. A medida que las plaquetas de arcilla se deshidratan, el agua adsorbida en la arcilla hidratada se libera. De esto resulta una reducción en el tamaño de las partículas y un aumento en el volumen de agua libre, con la correspondiente reducción en la viscosidad. Este fenómeno permite que se mantengan mayor cantidad de sólidos en el sistema de lodo con una viscosidad y resistencia de gel mínimas.

Teóricamente cuanto mayor es la concentración de calcio soluble en el filtrado, más inhibitorio es el sistema. El calcio soluble varía entre 120 ppm en un lodo de cal hasta 400-800 ppm en un lodo de cloruro de calcio, alcanzando niveles todavía más altos (hasta 1200 ppm) en un lodo de yeso.

Cuando se añade calcio a las arcillas prehidratadas, el efecto inicial es una floculación debida a que el catión altera las cargas eléctricas de la superficie de las partículas de arcilla. Después que se produce un intercambio de bases, la floculación desaparece acompañándose de una reducción de la viscosidad. Este espesamiento inicial, seguido de una caída ulterior de la viscosidad se conoce con el nombre de "pico de conversión".

Cuando se añaden arcillas secas al agua que contiene calcio soluble, la reacción es diferente. La acción de masa del catión calcio sobre las partículas secas evita la hidratación máxima inicial, y, por lo tanto, no existe la fase de espesamiento.

Los lodos de calcio debido a sus características inhibitorias, son capaces de mantener una baja viscosidad y una baja resistencia de gel con alta tolerancia de sólidos, Se puede así tener densidades máximas de lodo con bajas viscosidades cuando es necesario para controlar presiones subterráneas anormales.

Pueden emplearse lodos de cal cuando se desea un lodo inhibitorio y cuando las temperaturas no exceden de 135°C a 150°C, así como cuando se requieren densidades por encima de 1.44 g/cm³ en áreas donde pueden encontrarse flujos de agua salada, ó cuando se están perforando secciones de cemento y anhidrita.

1.4.2.- Lodos de yeso.

Los lodos de yeso pueden prepararse partiendo de cualquier lodo base agua, prefiriéndose lodos nativos ó lodos de bajo pH ligeramente tratados. Si se deben convertir lodos de alto pH ó lodos de cal será necesaria mayor dilución con agua y adiciones de más yeso y de dispersante, para disminuir los sólidos y la alcalinidad. El empleo de sosa cáustica no es un requerimiento usual.

Originalmente los lodos de yeso se usaron principalmente para perforar secciones de formaciones de anhidrata ó de yeso.

La falta de un dispersante eficaz redujo su empleo a los lodos de baja densidad que poseían normalmente alta viscosidad y alta resistencia de gel.

La introducción de un lignosulfonato ferrocromico como dispersante hizo posible el control de la viscosidad y de la resistencia de gel en este tipo de lodos.

Los sistemas de lodos de yeso son menos susceptibles a la solidificación a altas temperaturas que otros tipos de lodos tratados con calcio debido a su bajo valor de alcalinidad. Si se mantiene bajo el valor de la alcalinidad a la fenolftaleína (0.1 a 0.4) un lodo de yeso puede tolerar temperaturas hasta de 170°C. Sin embargo tienen mayor pérdida de filtrado que los de cal.

1.4.3.- Lodos de lignosulfonato.

Los lignosulfonatos ferrocromicos fueron usados por primera vez en 1950 para reducir la viscosidad y la resistencia de gel en lodos de yeso, ensayándose en lodos de otro tipo y se comprobó su utilidad en lodos simples, en lodos salinos y en lodos tratados con calcio.

Se cree que los lignosulfonatos de cromo se fijan sobre las partículas de arcilla por atracción de valencias del borde del enlace fracturado, reduciendo de esa manera la fuerza atractiva entre las partículas. Este fenómeno explica la habilidad del dispersante para reducir la viscosidad y la resistencia de gel. Se cree también que en altas concentraciones, el lignosulfonato, por adsorción masiva sobre la estructura de la arcilla, tiene un efecto bloqueante que minimiza la reacción de intercambio de base. Este efecto bloqueador y taponador se supone es en-

parte debido al ión crómico en razón de su naturaleza trivalente.

La adsorción masiva de los cationes de lignosulfonato crómico sobre la partícula de arcilla tiende a suprimir la hidratación de las partículas de arcilla.

Los tratamientos con lignosulfonato de cromo proveen un excelente control de la reología del lodo así como estabilidad de las paredes del pozo. El dispersante actúa también como un agente efectivo de control de filtrado debido al efecto taponante de las sales ferrocromicas y a la máxima dispersión que se logra.

1.4.4.- Lodos no dispersos de sólidos mínimos.

La penetración es un factor importante en el costo de perforar un pozo. La experiencia ha demostrado que, cuanto más baja es la concentración de sólidos en el lodo, mayor es la velocidad de penetración. Fluidos de perforación de agua tales como las salmueras nativas, han sido empleados con éxito en algunas áreas. Sin embargo, para la mayoría de las perforaciones, el agua no provee la viscosidad, la densidad ó el control de filtrado adecuados.

Las partículas de arcilla y los sólidos perforados del tamaño de arcilla (coloidal) parecen ser particularmente perjudiciales para la velocidad de penetración. Los polímeros ofrecen una alternativa con respecto a las arcillas como viscosificantes. También proveen control de filtrado suplementario (si bien usualmente debe añadirse algo de bentonita).

Los dispersantes aumentan la tolerancia de los lodos a los sólidos perforados en partículas más pequeñas. Esto dificulta la remoción en la superficie de sólidos perforados y aumenta la cantidad de sólidos coloidales en el lodo por lo tanto, un lodo de sólidos mínimos implica un lodo no disperso.

El punto de cedencia es el parámetro que está más íntimamente relacionado con la capacidad de un lodo para mantener -- en suspensión los recortes y la barita, y para retener las características de flujo laminar.

La viscosidad plástica es un indicador de la consistencia del lodo a medida que fluye hacia abajo a lo largo de la sarta. La reología normal de los lodos dispersos, con una viscosidad plástica que es aproximadamente el triple del punto de cedencia es claramente contraria a los objetivos para los lodos no dispersos.

Por otra parte, un lodo típico no disperso, de baja densidad, posee una reología "invertida" es decir, caracterizada por que el punto de cedencia iguala ó excede a la viscosidad plástica. Los valores de n y de k de la ley exponencial se vigilan a veces en los lodos no dispersos. Cuanto más invertida es la reología más bajo es el valor de n de la ley exponencial.

El incremento de sólidos puede espesar los lodos no dispersos hasta el punto en que se hace necesario añadir dispersantes. Un control continuo y efectivo de los sólidos es esencial si se requiere mantener un lodo no disperso.

Debido a que los dispersantes orgánicos están ausentes - y que la concentración de sólidos coloidales es baja, estos lodos presentan normalmente velocidades de filtración más altas - de lo que es habitual en lodos dispersos. Una pérdida de filtración API de 10 a 20 cm^3 se considera buena en estos sistemas.

Dentro de este tipo de lodo tenemos: lodos de bentonita - extendida, lodos de polímeros producidos biológicamente, lodos - de polímeros de celulosa, lodos de almidón y los lodos especiales no dañinos diseñados para perforar a través de zonas productivas sensitivas.

1.4.5.- Lodos de emulsión inversa.

Una emulsión inversa es un sistema de agua en aceite en el cual la fase dispersa es agua salada y la fase continúa es - aceite.

Una emulsión de agua en aceite se estabiliza por medio de varios emulsionantes. En una buena emulsión no debe haber tendencia de separación de fase, el aceite continuará siendo la fase - continúa y las gotas de agua no serán capaces de abrirse paso en medio de esa fase continúa ó de entrar en contacto con las paredes del pozo ó con la sarta.

Las teorías modernas que tratan con la formación y conducta de las emulsiones son complejas y no hay una teoría que - por sí sola explique todas las características importantes de -- comportamiento. Se conoce sin embargo que la conducta de una emulsión inversa es influida considerablemente por la relación acei-

te-agua, por el tiempo y grado de agitación y por el tipo y cantidad del emulsionante empleado.

La mayoría de los lodos de emulsión inversa emplean condiciones cercanas a una relación óptima entre las cantidades de aceite y de agua. Esta proporción aceite-agua está planificada para que el lodo tenga el mejor equilibrio entre viscosidad, pérdida de filtrado y estabilidad de la emulsión.

TABLA 4.1

RANGOS PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DE UN LODO BASE AGUA.-

DENSIDAD gr/cc	VISCOSIDAD PLASTICA cps	PUNTO DE CEDENCIA lb/100 ft ²	%SOLIDOS
1.20	12 - 16	2.5 - 7	10 - 12
1.25	14 - 18	3.5 - 8	11 - 13
1.30	15 - 20	4.5 - 9	13 - 15
1.35	16.5 - 22	5 - 9.5	14 - 16
1.40	18.5 - 24	5.5 - 10	16 - 18
1.45	20 - 26.5	6.0 - 10	18 - 20
1.50	22 - 29	6.5 - 11	20 - 23
1.55	26 - 30.5	7 - 12	22 - 25
1.60	28.5 - 34	7.5 - 12.5	23 - 26
1.65	29.5 - 36.5	7.5 - 13	24 - 27
1.70	32.0 - 38.5	8 - 14	25 - 28
1.75	35.0 - 41.5	8 - 14.5	27 - 30
1.80	38.0 - 46	9 - 15.5	28 - 32
1.85	41 - 48	10 - 16.5	30 - 34
1.90	44 - 51	10.5 - 17.5	32 - 36
1.95	46.5 - 54.5	11 - 18.5	33 - 37
2.00	49.5 - 57.5	12 - 19.5	35 - 39
2.05	52.5 - 61.5	13 - 20.5	36 - 40

CAPITULO II

2.1.- Composición de los lodos de emulsión inversa.

El concepto que el lodo de aceite es básicamente un mejor fluido que el de agua-arcilla para cabar pozos ha prevalecido en la industria petrolera. Aunque el petróleo ha sido afortunadamente usado para este propósito no es el material ideal ya que carece de muchas propiedades deseables en un buen fluido de perforación. En primer lugar, aunque sus características de viscosidad son usualmente adecuadas, es un fluido no tixotrópico. Esto significa que la adición de agentes de peso aunque sean del tipo de baja gravedad específica como el carbonato de calcio gravedad específica = 2.70 ó del tipo de alta gravedad específica como el sulfato de bario gravedad específica = 4.20 se asientan rápidamente en el aceite. Esta falta de fuerza de gel impide que los cortes permanezcan en suspensión si la circulación del fluido es detenida.

Además, el aceite crudo no tiene buenas propiedades de enjarre y usualmente da una alta pérdida de fluido. Aún algunos asfaltos de alta viscosidad del petróleo crudo dan una pérdida de fluido de varios centímetros cúbicos durante 30 min. de tiempo de prueba. Esto no es permisible puesto que la pérdida completa de circulación podría ser posible durante la perforación ó -- acabado de los pozos. Otra dificultad es que el aceite y el agua son incompatibles. La entrada de agua, ya sea dulce o salada, en el aceite crudo da como resultado dos fases separadas hasta que son circuladas junto con suficiente agitación resultando una -- emulsión.

Mitler en 1951, discutió las características deseables de los lodos base aceite las cuales son:

- 1.- Completamente flexibles en sus propiedades a través de los rangos de peso (habilidad de suspensión entre resistencia de gel-material de peso), rango de viscosidad y todos los rangos prácticos de temperatura en la perforación de pozos de aceite ó de gas.
- 2.- Propiedades de enjarre tan perfectas como sea posible: (si esta propiedad es obtenida, puede ser dada menor atención al tipo de ingredientes que pueden ser usados).

Si las propiedades de enjarre son pobres, pero el filtrado consiste solo de aceite no dañino, el fluído de perforación podría ser satisfactorio. Sin embargo los problemas de mantenimiento relacionados con la adición de aceite para componer los rangos de viscosidad pueden ocurrir.

- 3.- En cuanto las propiedades de enjarre sean perfectas como sea posible nos llevarán a compensar la permeabilidad de la formación productora al menos un 96% de su valor original.
- 4.- No pierden agua a la formación productora.
- 5.- En unión con las propiedades anteriores, los lodos de base aceite podrían estar constituidos con la eliminación del agua acumulada de las operaciones de perforación, condiciones climatológicas ó adiciones negligentes.

El uso de los surfactantes adecuados mantendrían suspen -

dados los sólidos incluyendo material pesado en el aceite.

El uso de los lodos base-aceite permaneció un poco limitado desarrollándose después sistemas en donde se presentaba la adición de grandes cantidades de agua conservándose los beneficios de una fase externa de hidrocarburos, conociéndose como emulsiones invertidas.

A partir de 1953-1960 aparecieron en el mercado formulaciones para lodos de emulsión invertida que contenían de un 20 a un 60% de agua. En la mayoría de ellas se encontró que su uso en el campo era deficiente en el control de sus propiedades de trabajo ó en la habilidad de controlar sus propiedades físicas dentro de los límites deseados. Se continuaron desarrollando gradualmente resultados en productos perfeccionados y actualmente hay al menos 4 clases diferentes de lodos de emulsión inversa disponibles, buscándose aún sistemas técnicamente más satisfactorios.

Las primeras emulsiones no fueron lodos de base aceite pero eran nuevos sistemas con emulsificantes que permitieron la construcción de lodos con 20 a 75% de agua manteniendo al aceite como la fase externa.

2.2.- Propiedades de las emulsiones.

Una emulsión es un sistema de dos fases, que consta de dos líquidos no miscibles ó parcialmente miscibles, uno de los cuales es dispersado en el otro en forma de glóbulos cuyos tamaños oscilan entre 0.1 y 10 micras de diámetro.

En casi todas las emulsiones, una de las fases es acuosa y la otra es un aceite. Si el aceite es la fase dispersa, la emulsión se denomina de aceite en agua, si el agua es la fase dispersa la emulsión será de agua en aceite ó emulsión invértida.

Hay varios métodos para identificar el tipo de emulsión:

- 1.- Generalmente una emulsión de aceite en agua tiene una textura cremosa y las emulsiones de agua en aceite tienen un tacto graso.
- 2.- La emulsión se mezcla fácilmente con líquidos que son miscibles con el medio de dispersión.
- 3.- Las emulsiones se colorean con facilidad con tintes que son solubles con el medio de dispersión.
- 4.- La conductividad eléctrica generalmente es mucho mayor en emulsiones de aceite en agua.

Probablemente las propiedades físicas más importantes de una emulsión es su estabilidad. El término "estabilidad de la emulsión" se utiliza con frecuencia en relación con dos fenómenos esencialmente diferentes que son: formación de nata o sedimentación, y la destrucción de la emulsión debida a la coalescencia de las gotículas.

Si se prepara una emulsión homogeneizando dos líquidos puros, la separación de fases de los componentes será generalmente rápida, especialmente si la concentración de la fase dispersa es un poco alta. Para obtener emulsiones razonablemente estables -

hay que tener un tercer componente que es un agente emulsionante. Las sustancias que son más efectivas como agentes emulsionantes- (y espumante) se pueden clasificar como:

- 1.- Sustancias con actividad superficial.
- 2.- Materiales de origen natural.
- 3.- Polvos finos de sólidos.

Las funciones de un agente emulsionante son facilitar la formación de emulsión y promover la estabilidad de la misma. Estos agentes forman una película adsorbida alrededor de las gotas dispersadas que contribuyen a evitar la floculación y la coalescencia.

El mecanismo de estabilidad es generalmente complejo y puede variar de un sistema a otro. Los factores que favorecen la estabilidad de una emulsión dependen de la naturaleza del agente emulsionante y de la elección apropiada de las condiciones de formulación y manufactura. Algunos de estos factores son:

1.- Tensión interfacial baja. La adsorción de un surfactante a una interfase aceite-agua produce una disminución de la energía interfacial, con lo cual se facilita el desarrollo y favorece la estabilidad de las grandes áreas interfaciales asociadas con las emulsiones. Sin embargo, éste no es el único mecanismo estabilizante; las sustancias tales como gomas y sólidos muy pulverizados también tiene efectos estabilizadores de emulsiones muy importantes, aunque a éstos no se les reconoce claramente una naturaleza anfifílica.

2.- Una película interfacial mecánicamente fuerte. La estabili -

dad de las emulsiones que tienen proteína como estabilizan - te proviene de la protección mecánica que les dan las pelí - culas adsorbidas alrededor de las gotículas, más que de la - reducción de la tensión interfacial.

Los sólidos pulverizados para los que el ángulo de contac - to es entre 0° y 180° tienden a acumularse en la interfase - - aceite-agua dándole estabilidad a la emulsión.

Los surfactantes también estabilizan en el aspecto mecá - nico. La coalescencia implica la floculación de gotículas segui - das de una exclusión de la sustancia de la película protectora - de la región de contacto entre las gotículas y esto último es - más fácil con una película expandida que con una empaquetada de - modo compacto.

- 3.- Repulsiones de doble capa eléctrica.
- 4.- Relaciones de volúmenes de las fases apropiadas.
- 5.- Tamaños de partículas pequeños.
- 6.- Viscosidad alta.

El tipo de emulsión que se forma cuando se homogeniza - un par dado de líquidos inmiscibles, depende: 1).- de la rela - ción de volúmenes de las dos fases, y 2).- de la naturaleza del - agente emulsionante.

- 1.- Volúmen de la fase.- Cuanto mayor es el volúmen de la fase, - mayor es la probabilidad de que sea el medio de dispersión - Sin embargo, el líquido con el mayor volúmen de fase no es - necesariamente el medio de dispersión.

Si la emulsión estuviera formada por un conjunto de gotículas esféricas uniformes, empaquetadas muy juntas, la fase dispersa ocuparía el 74% del volumen total. Sin embargo se pueden preparar emulsiones estables en las que la fracción en volumen de la fase dispersa es mayor de 74% porque las gotículas no son uniformes en tamaño y pueden empaquetarse más densamente, y porque las gotículas pueden deformarse convirtiéndose en poliedros gracias a que la película interfacial impide la coalescencia.

2.- Naturaleza del agente emulsionante.- Los jabones de metales alcalinos favorecen la formación de emulsiones de aceite mientras que los de metales pesados contribuyen a la formación de emulsiones de agua en aceite. Las primeras, estabilizadas por jabones de metales alcalinos si están en la zona media de concentración, pueden romperse fácilmente o incluso invertir a emulsiones de agua en aceite si se les añaden iones de metales pesados.

Existen varias teorías en relación con el tipo de emulsión que se forma.

La teoría de la cuña orientada dice que para alcanzar una densidad interfacial máxima, el extremo de las moléculas de emulsionante con actividad superficial que tiene la sección transversal mayor, debe estar orientado hacia el medio de dispersión. Así los jabones monovalentes tienden a dar emulsiones de aceite en agua y los polivalentes de agua en aceite. La

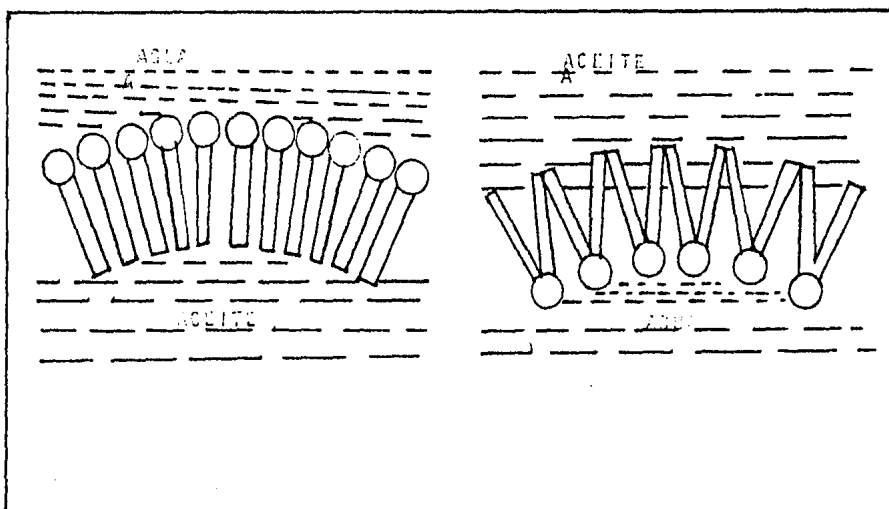


Figura 1.2.- Teoría de la cuña orientada.

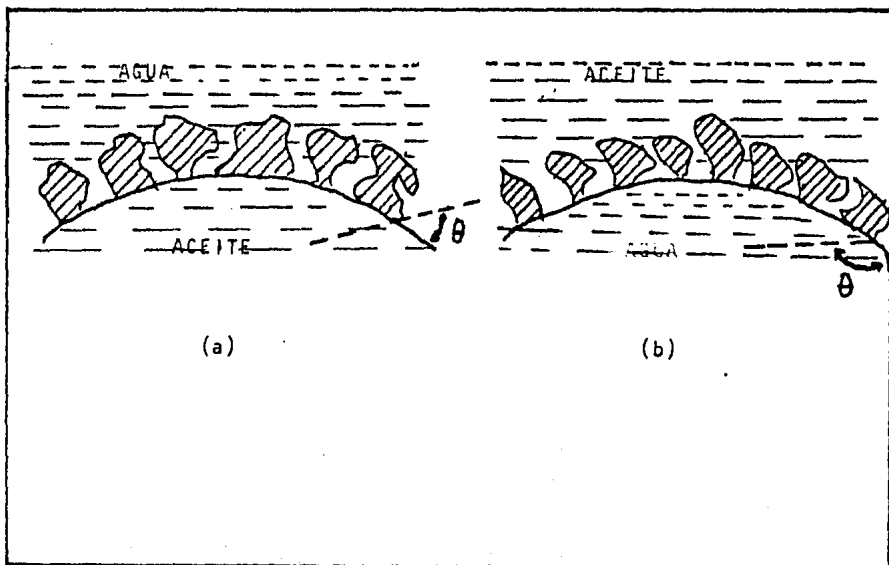


Figura 2.2.- Estabilización de emulsiones por sólidos finamente divididos: a) Si el sólido se moja preferentemente por agua la emulsión será de aceite/agua ; b) si se moja por el aceite la emulsión será de agua/aceite.

teoría no es del todo consistente con los resultados experimentales, puesto que algunos jabones monovalentes como los de plata tienden a dar emulsiones de agua en aceite.

Otra teoría considera la capa interfacial como de naturaleza duplex con tensiones interfaciales interior y exterior; el tipo de emulsión formado será aquél para el que la tensión interfacial interior sea mayor.

La teoría general más satisfactoria sobre el tipo de emulsión es la que se propuso originalmente para las emulsiones estabilizadas por sólidos finamente pulverizados. Si el sólido se moja preferentemente por una de las fases se pueden acomodar más partículas en la interfase si ésta es convexa hacia la fase que moja; es decir, la fase que moja preferentemente es el medio de dispersión. Por ejemplo, la bentonita, que se moja preferentemente por agua, tiende a dar emulsiones de aceite en agua, mientras que el negro de humo, que se moja preferentemente por el aceite, da emulsiones de agua en aceite. El tipo de emulsión que tenderá a formar un emulsionante depende del equilibrio entre sus propiedades hidrofílicas y lipofílicas; los jabones de metales alcalinos favorecen la formación de emulsiones de aceite en agua porque son más hidrofílicos que lipofílicos, mientras que con los jabones de los metales pesados ocurre lo contrario. *

En muchos de los casos lo importante desde el punto de vista práctico es la destrucción de una emulsión (desemulsificación). Ejemplo de este tipo es el desnatado, destrucción ó inversión de la leche para obtener mantequilla y la rotura de las emulsiones de agua en aceite en los campos petrolíferos.

Para acelerar la destrucción de las emulsiones se utilizan comercialmente varias técnicas. Los métodos mecánicos incluyen la separación por centrifugación, destilación y filtración. Otros métodos se basan en el principio de acción antagónica; es decir la adición de emulsionantes que producen emulsiones de agua en aceite tiende a destruir las emulsiones de aceite en agua y al contrario. Las emulsiones también pueden romperse aplicandose campos eléctricos intensos, en cuyo caso los factores principales que intervienen son la electroforesis en el caso de emulsiones de agua en aceite.

2.3.- Las emulsiones inversas y su uso en la perforación de pozos petroleros.

Actualmente se han utilizado emulsiones de agua en aceite para la perforación de los pozos petroleros profundos debido a los beneficios que de ellas se obtiene como son:

- 1.- Protección de los horizontes productores.
- 2.- Perforación de lutitas hidratables ó que se dispersan.
- 3.- Perforación de formaciones solubles al agua.
- 4.- Obtención de núcleos nativos.
- 5.- Prevención y recuperación de tuberías pegadas.

La experiencia obtenida con este tipo de emulsiones usadas como fluido de perforación ha señalado aplicaciones adicionales por ejemplo:

- 1.- Soportar los cambios químicos a altas temperaturas en las cuales los lodos convencionales se solidifican, esto las hace ideales para perforar pozos profundos con altas temperaturas.
- 2.- Su largo período de estabilidad y su natural no-conductividad las hace usables en terminación y reparación de pozos y en programas de reducción de corrosión.

La mayoría del trabajo común de investigación en lodos de emulsión inversa es dirigido hacia emulsiones que puedan ser fácilmente mantenidas en buenas condiciones con un contenido de agua en el rango de 10-60% a temperaturas de 40-150°C.

La composición de los lodos de emulsión inversa comercia-

les tienen una poca de reserva en su fabricación, lo que trae como resultado la dificultad de discutirlas.

Alexander en 1944 discutió la composición general de los lodos de emulsión invertida y estableció que los jabones de álcalis metálicos eran usados para desarrollar resistencia de gel, así como también los ácidos grasos insaturados con dos o más enlaces dobles ó triples en la molécula.

Otro tipo de compuestos de uso común en las emulsiones invertidas, son materiales con enlaces de nitrógeno de cadena larga como los compuestos catiónicos cuaternarios de amonio, amido aminas, y lecitinas una amina fosfolípida.

La tabla siguiente presenta un resumen de los ingredientes principales revelados en doce patentes en los inicios del uso de los lodos de base aceite y emulsión inversa, notándose que en 9 de estas patentes se nombran para un ácido graso alcalino térreo, aceite pesados, jabones de resinas de aceites como el aceite soluble emulsificante. En algunos casos, jabones del tipo de sodio o solubles en agua son también añadidos para proporcionar fuerza y estabilidad a la emulsión. Seis de los doce sistemas usan alguna forma de los compuestos con nitrógeno para promover la humectación en el aceite de la arcilla y minerales sólidos, para promover la emulsificación y estabilizar la emulsión a altas temperaturas y sólidos altos, proporcionar resistencia de gel y pérdida de fluído reducida.

Con excepción de uno, todos los lodos son capaces de contener de 20-60% de agua.

En seis casos el cloruro de sodio ó el cloruro de cal --
 cio ya sea para saturar o para conferir un contenido de sal a -
 la fase acuosa se utiliza para prevenir la hidratación de los -
 esquistos perforados.

2.4.- Composición de diferentes tipos de emulsiones invertidas.

Carboximetilcelulosa de sodio (Na CMC)

Composición: NaCMC, cal, aceite pesado, resina de aceite.

Aceite-agua%: 60-40

Temperatura máxima: No dada.

Método para control: La viscosidad se incrementa con CMC-
 o agua, resistencia de gel baja.

La pérdida de fluído se regula por -
 la tensión y cantidad de emulsión.

Otros tratamientos: CMC, emulsificantes solubles en agua,
 aceite, Ca (ftalató o resinato).

Composición: 5.7 - 14.3 kg/m³ de anhidrosorbital-
 mono - oleato, agua saturada con sal.

Aceite-Agua%: 20-40, 80-60.

Temperatura máxima: No dada.

Método para control: La tensión y la cantidad de emulsión
 creada por el jabón regula la pérdi-
 da de fluído y la viscosidad.

Composición.- Lodo estandar base aceite de asfalto
 soplado, resina de aceite, aceite pe-
 sado o ácido graso más una amina ca-
 tiónica como el cloruro de dimetil -
 dihexadecilamonio.

Aceite-Agua: 60-40, 99-1.

- Temperatura máxima:** 150°C
- Método para control:** La viscosidad se incrementa con jabón, - disminuye con aceite; la resistencia de gel aumenta con agua/jabón, disminuye con agua+aceite, la pérdida de fluído se regula con asfalto soplado.
- Otro tratamiento:** La amina surfactante previene al lodo de la pérdida de sus propiedades bajo altas-temperaturas ó pesos arriba de 1.45 gr/cc°.
- Composición:** Residuos de ácidos graso, agente oxidante, cloruro de calcio, lecitina, arcilla, - aceite, agua.
- Aceite-Agua%:** 60-40, 100-0
- Temperatura máxima:** No dada
- Método para control:** La viscosidad se incrementa con agua/resi-
duos cáusticos de ácidos grasos, agua ó -
arcilla, disminuye con aceite/agua.
- Otros tratamientos:** Añadir lecitina (amina) y cloruro de calcio si el agua está por arriba del 15% en volúmen.
- Composición:** Amina no iónica, arcilla en lodo base --
aceite.
- Aceite-Agua %:** No dada.
- Método para control:** Viscosidad y resistencia de gel incrementada pérdida de fluído disminuída añadiendo arcilla y amina.
- Otro tratamiento:** Amina para emulsificación y para otras -
propiedades benéficas.

Composición:	Aceite, ácido sulfúrico, cloruro de calcio, lodo agua-arcilla.
Aceite-Agua%	20-80, 85-15.
Temperatura Máxima: °C:	No dada.
Método de control:	La reacción del ácido sulfúrico con el aceite forma emulsificante que regula la viscosidad, la resistencia de gel y la pérdida de fluído. Añadir aceite para disminuir la viscosidad.
Otro tratamiento:	Añadir cloruro de calcio, para prevenir la hidratación de la formación perforada.
Composición:	Aceite asfáltico ó residuo asfáltico, ácido sulfúrico, cal, ácido graso ó jabón de resina de aceite.
Aceite-Agua%.	80-20-100-0.
Método para control:	La viscosidad, resistencia de gel, y la pérdida de fluído son desarrolladas a partir del jabón y los surfactantes sulfatados formados en el aceite por la reacción ácida.
Otro tratamiento:	Si el lodo va a ser pesado jabones de resina deben ser añadidos para dar la fuerza de suspensión necesarias.
Temperatura: máxima:	120°C.
Composición:	Jabón de ácido alcalino-térreo, amido, amina, aceite y agua.

- Aceite-agua%:** 40-60-, 60-40.
- Temperatura Máxima°C:** 50°C.
- Método para control:** Emulsificación primaria, viscosidad y resistencia de gel del jabón cálcico, amido amina para la estabilización de la emulsión, dispersión de las arcillas, humedecimiento por el aceite, pérdida del flujo reducida, viscosidad incrementada y resistencia de gel.
- Otro tratamiento:** Amido amina para suspensión y estabilidad.
- Composición:** Amida del tipo de aceite soluble emulsificante y agente activo de superficie, emulsificante nonilfenol, jabón de ácido graso; lodo agua-arcilla y aceite.
- Aceite-Agua %:** 60-40, 30-70.
- Temperatura máxima°C:** 175°C.
- Método para control:** Viscosidad, gel y pérdida de flujo regulados por las relaciones de los emulsificantes de amida y nonilfenol (soluble en aceite y agua), añadir jabones de ácidos grasos alcalinoterreos para lodos pesados.
- Otro tratamiento:** Los surfactantes tipo amidas añaden estabilidad a altas temperaturas y a concentraciones de sólidos altas.
- Composición:** Perlita, sal, alumbre, cloruro de bario, esterox CD, lecitina, petronato L, óxido de magnesio, bisfenol A, aceite, agua, resina vegetal.

Aceite-Agua %:	25-75-25.
Temperatura Máxima:	150°C
Método para Control:	Las propiedades físicas se controlan por la regulación de varios emulsificantes.
Composición:	Amida, jabón de ácido graso (emulsificante), agua saturada con sal, arcilla ó material de peso, gilsonita.
Aceite-Agua%:	25-75, 75-25.
Temperatura Máxima:	120°C
Método para control:	Jabón de ácido graso para la emulsificación primaria, amida para la resistencia de gel, pérdida de fluído y estabilidad a temperaturas altas.
Otros tratamientos:	Amida para la estabilización de la arcilla, gilsonita para la pérdida de fluído a temperaturas altas.

2.5.- Lodos de emulsión inversa usados en el Distrito El Plan, Ver.

En el Distrito Petrolero El Plan, Ver., se utilizan dos tipos de lodos de emulsión inversa que son: el lodo Drilex, de la casa Dril de México, S.A. y el sistema de la Halliburton.

2.5.1. Sistema Drilex.

El sistema Drilex se compone de los siguientes productos:

Drilex.-

Es el emulsificante básico, es un líquido viscoso de color café oscuro constituido por una mezcla de ácidos grasos --

de alto peso molecular que son extraídos de aceites vegetales y se envasa en tambores de 200 litros.

Este producto influye en las características de viscosidad-gelatinosidad.

Drilox.-

Es el óxido de calcio proveniente de la calcinación del carbonato de calcio. Es el agente estabilizador y complemento del Drillex, contribuye a mejorar las propiedades de filtración y de suspensión de los materiales utilizados para densidad. Viene envasado en sacos de 50 kg y 25 kg, de plástico, para proteger el material de la humedad atmosférica.

Dril-G.-

Es un aditivo gelante asfáltico (sólido), para mejorar las condiciones de diesel.

Reactivos.

En el sistema Drillex los reactivos son el diesel y el electrolito usados de acuerdo a la relación aceite-agua y densidad requeridos conforme a las tablas correspondientes.

Método de preparación de un lodo Drillex.

Se recomienda seguir los seis pasos indicados a continuación calculando previamente la cantidad de material químico de acuerdo a la tabla 1.2.

1.- Poner a las presas el volúmen de diesel-dril-G calculado. El dril-G se agrega en relación del 3% al volúmen de diesel calculado.

Sin embargo, esta proporción puede ser aumentada según la calidad del diesel, con que se cuenta.

2.- Agregar el drillex calculado (agitando).

TABLA No. 1.2.

CANTIDADES SUGERIDAS DE REACTIVOS PARA PREPARAR 1 m³ DE LODO DRILEX
RESISTENTE A 300°C — 20,000 lb/pulg².

DENSIDAD gr/cc	RELACION ACEITE/AGUA	DIESEL l _t		ELECTROLITO l _t	BARITA kg	BARITA vol l _t	FASE LIQUIDA l _t
1.00	51/49	465		476	107	24	976
1.05	51/48	464	DRIL-G (1)	461	173	40	960
1.10	53/47	462		446	191	57	943
1.15	53.5/46.5	462		432	254	71	929
1.20	54/46	460		417	323	88	912
1.25	55/45	460		402	361	1.03	897
1.30	56/44	458		387	446	1.20	880
1.35	57/43	457		371	518	1.37	863
1.40	58/42	456		254	572	1.55	845
1.45	59/41	455	DRILEX	341	661	1.69	831
1.50	60/40	454		327	720	1.84	816
1.55	61/39	454		313	793	1.98	802
1.60	62/38	453		298	859	2.14	786
1.65	63/37	452		283	922	2.30	770
1.70	64.5/35.5	451		268	986	2.46	754
1.75	66/34	450		253	1,065	2.62	738
1.80	67/33	449	DRILOX	238	1,030	2.78	722
1.85	68/32	448		223	1,200	2.94	706
1.90	70/30	447		209	1,278	3.09	691
1.95	71/29	446		194	1,362	3.25	675
2.00	73/23	445		179	1,426	3.41	659
2.05	74.5/25.5	444		164	1,502	3.57	643
2.10	76/24	443		150	1,564	3.72	628
2.15	78/22	442		135	1,630	3.88	612
2.20	80/20	441		120	1,697	4.04	596

(1) DRIL-G. Se agrega al 3% del volumen de diesel calculado, sin embargo esta proporción puede aumentarse según la calidad del DIESEL con que se cuenta.

- 3.- Agregar la mitad de agua salada preparada del 5% a saturación del NaCl (250,000 ppm) agitando.
- 4.- Agregar por los embudos el Drilox (agitando).
- 5.- Agregar el resto del agua salada, agitando.
- 6.- Ajustar la densidad con barita.

Con bombas centrífugas es fácil formar la emulsión en un corto período de tiempo, debido a la capacidad que tienen éstas de mover grandes volúmenes de fluido.

Mecanismo de formación.-

Por medio de agitación el agua se dispersa en la fase continua (diesel) formando emulsión mecánica. Para darle estabilidad química a esta emulsión se agrega el óxido de calcio (Drilex), el cual al reaccionar con el agua dispersa forma una lechada de hidróxido de calcio.

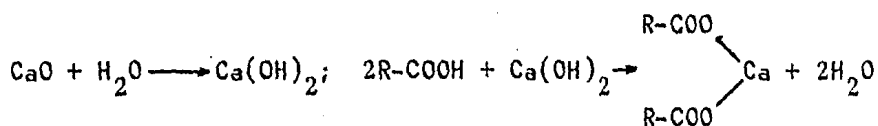
Posteriormente el ácido graso Drilex reacciona con la lechada de cal formando el jabón cálcico que rodea las partículas de agua impermeabilizándolas y evitando que se atraigan entre sí y se rompa la emulsión.

El material densificante (barita) es sostenido por el jabón cálcico que rodea a cada una de las gotas de agua.

Cuando en este sistema se usa cloruro de calcio en lugar de cloruro de sodio en la fase acuosa, al agregar la cal viva esta no logra en gran cantidad reaccionar con el agua dispersada para formar la lechada básica de la reacción principal del sistema dando una emulsión de baja estabilidad, fenómeno que es atribuido al efecto del ión común de la cal y del cloruro.

ro de calcio. Su uso requiere pruebas del laboratorio mezclan - do previamente la cal y el cloruro de calcio en el agua para pro - ceder a preparar la emulsión.

La emulsión inversa Drilex tiene como base la reacción - química existente entre el ácido graso y el hidróxido de calcio.



Operaciones usuales con lodos Drilex.

1.- Disminución de la viscosidad.- Con el objeto de redu - cir los valores de viscosidad, hay que aumentar la relación -- aceite-agua para lo cual se agrega diesel-dril-G y los reactivos correspondientes indicados en la tabla. 2.2

2.- Incremento de viscosidad.- Cuando se hace necesario - un incremento de la viscosidad, basta adicionar agua salada, lo - que disminuirá la relación aceite-agua, agregando los reactivos - correspondientes indicados en la tabla 2.2

3.- Aumento de volúmen.- Para aumentar el volúmen del -- sistema es necesario adicionar diesel-dril-G, agua salada, Dri - lex-Drilox y la barita correspondiente de acuerdo con las propor - ciones sugeridas en la tabla 2.2, pudiendo hacerse esta adición simultáneamente.

4.- Aumento de densidad.- Al aumentar la densidad y con -

TABLA No. 2.2
 CANTIDADES NECESARIAS DE REACTIVOS AL ADICIONAR 1.0 m³ DE
 FASE LIQUIDA A LOS LODOS DRILEX.

DENSIDAD lb/gal	PESO específico	DRILEX litros	DRILOX kg.	BARITA kg.
7.7	0.92	20	30	0.0
8.3	1.00	22	30	110.0
8.7	1.05	24	31	180.0
9.2	1.10	25	32	205.0
9.6	1.15	26	32	270.0
10.1	1.20	26	32	380.0
10.5	1.25	27	33	405.0
10.9	1.30	28	34	510.0
11.3	1.35	29	34	600.0
11.8	1.40	30	35	680.0
12.2	1.45	31	36	795.0
12.5	1.50	33	37	885.0
12.9	1.55	35	37	990.0
13.7	1.65	39	39	1230.0
14.2	1.70	40	40	1310.0
14.5	1.75	42	40	1395.0
15.0	1.80	43	41	1560.0
15.4	1.85	45	42	1705.0
15.8	1.90	46	43	1850.0
16.3	1.95	48	44	2020.0
16.7	2.00	50	45	2180.0
17.0	2.05	52	46	2345.0
17.5	2.10	54	47	2490.0
17.9	2.15	57	49	2660.0
18.3	2.20	58	50	2840.0

el objeto de evitar valores indeseablemente altos de viscosidad-- una vez agregada la cantidad de barita calculada, es necesario-- aumentar la relación aceite-agua a los valores sugeridos en la -- tabla 1.2 , de acuerdo a la nueva densidad, agregando diesel- -- dril-G y el Drilex Drilox correspondientes.

5.- Disminución de densidad.- Para disminuir la densidad-- se adiciona diesel-dril-G, agua salada, Drilex-Drilox en las -- cantidades calculadas a la nueva densidad. Esta adición puede -- hacerse en forma simultánea ó en el orden que más convenga según el lugar de trabajo.

Control.-

El sistema de emulsión inversa Drilex se controla tomando en cuenta la relación entre sus propiedades reológicas y la relación aceite-agua, a menor relación aceite-agua mayores valores reológicos, a mayor relación aceite-agua menores valores reológicos.

Los principales puntos de control son:

a).- Viscosidad de embudo Marsh, la cual debe ser superior a la de los lodos base agua para una misma densidad.

Relación aceite-agua en %:

$$\% \text{ Fase aceite} = \frac{100 L_d}{L_d + L_a}$$

L_d = Lectura del aceite

L_a = Lectura del agua

$$\% \text{ Fase agua} = \frac{100 L_a}{L_d + L_a}$$

b).- Incremento de la relación aceite-agua.- Para calcular el diesel-dril-G en metros cúbicos que se debe agregar para aumentar la relación aceite-agua a su valor determinado, se aplica la siguiente ecuación en función de los valores del % de la relación de agua.

$$V_a = \frac{V_o \times r_{a_1}}{r_{a_2}} - V_o$$

en donde:

V_a = Volúmen de diesel-dril-G a adicionar en m^3

V_o = Volúmen de lodo original.

r_{a_1} = %relación de agua original.

r_{a_2} = %relación de agua requerida.

Al agregar diesel-dril-G hay que tener precaución de agregar a la vez las proporciones de Drilex-Drilox y barita de acuerdo a la tabla 2.2.

c).- Filtrado APAT.- Debe ser totalmente aceite. Si hay presencia de agua es señal que la emulsión no es estable y debe corregirse con Drilex-Drilox.

d).- Gelatinosidad.- El sistema Drilex requiere suficiente fuerza de gelatinosidad para la correcta suspensión de la barita. La fuerza de gelatinosidad previene el asentamiento de los cortes cuando se interrumpe la circulación. Por lo general el valor de gelatinosidad a 10 minutos debe ser el doble que a 0 minutos. Si se requiere aumentar estos valores basta con adicionar -

Drilex.

e).- Estabilidad de la emulsión.- Se mide el poder dieléctrico del sistema por medio de un probador de emulsión por inmersión de los electrodos en el fluido y aumentando el voltaje hasta que el paso de la corriente quede establecido. Si la lectura es de 100 volts o más puede considerarse suficiente. Esta prueba no necesariamente indica las condiciones óptimas de la emulsión.

f).- Densidad.- Si se requiere aumentar el peso es conveniente agregar junto con la barita calculada las cantidades requeridas de diesel-dril-G, agua salada y Drilex-Drilox para mantener la adecuada relación aceite-agua de acuerdo a la nueva densidad del lodo.

Si se requiere disminuir, es necesario agregar al volumen total de lodo con que se está trabajando, un volumen adicional conocido, de diesel-dril-G, electrolito, Drilex-Drilox de acuerdo a los siguientes cálculos:

Diesel-dril-G en litros = $F \times 480$

Drilex en litros = $F \times 20$

Electrolito en litros = $F \times 500$

Drilox en kg = $F \times 30$

Para encontrar el factor F y facilitar el cálculo de este volumen adicional, se sugieren las siguientes ecuaciones:

$$F = \frac{D_i - D_f}{D_f - 0.92} = V_o$$

donde:

F = Factor

V_o = Volumen original

V_i = Densidad inicial

D_f = Densidad final

2.5.2. Sistema de lodo Halliburton.- Se compone de los siguientes materiales:

Kenol-S.

El concentrado IMCO Kenol-S es una mezcla líquida de emulsionantes, agentes gelificantes y agentes de control de filtrado. Se puede emplear para formar la emulsión básica para ambos sistemas de fase interna con cloruro de calcio y cloruro de sodio.

Salmueras de cloruro de sodio.- Cuando se emplea agua con cloruro de sodio como fase interna de la emulsión inversa, las propiedades óptimas de fluido se logran con salmuera de 1.2 kg/lt.

Los cuadros de formulación (tabla 32) para IMCO Kenol-S - preparados con salmueras de cloruro de sodio están basados en la utilización de agua con 1.2 kg/lt de cloruro de sodio. A menudo se dispone de salmueras de campo saturadas o cercanas a la saturación.

Salmueras por debajo de la saturación pueden utilizarse con éxito en un sistema Kenol-S en caso de ser absolutamente necesario por consideraciones económicas, falta de sal, etc. Se ha empleado agua de mar pero no se recomienda, usándose a menudo en pequeñas cantidades como agua de dilución para otras salmueras.

No debe agregarse cloruro de sodio a la emulsión termina-

da, pues caería en la fase continua de petróleo sin atravesar la interfase petróleo-agua y causaría un incremento de las propiedades reológicas.

Salmueras de cloruro de calcio. El empleo de cloruro de calcio como electrolito en la fase interna se hace posible utilizando los emulsionantes Kenol-S. Si bien en la fase interna de los sistemas Kenol-S se emplean salmueras de hasta unos 1.37 kg/lt. (el nivel de saturación del cloruro de calcio), todas las mezclas estándar de los cuadros de formulación están basadas en salmueras de 1.2 kg/lt de cloruro de calcio.

Si se necesitan salinidades más elevadas que las disponibles en aguas de 1.2 kg/lt, la mezcla inicial debe hacerse con una salmuera estándar de 1.2 kg/lt, añadiendo luego cloruro de calcio adicional al sistema terminado. Sin embargo debido a la lenta absorción, se recomienda que sólo se añada de esta manera cloruro de calcio en polvo, a menos que se evite la zaranda vibratoria por una o dos circulaciones.

Kenox.-

El aditivo IMCO Kenox contiene cal que convierte los concentrados a jabones base cálcica, los cuales a su vez imparten las características deseables propias de una emulsión inversa. La naturaleza de las reacciones químicas (entre los concentrados y la cal viva) son tales que hay muy poco cambio volumétrico debido a la adición de cal viva en cantidades de hasta 1.2 kg/lt.

IMCO VR.-

Este aditivo es un material de tipo asfáltico que provee control de filtrado a todas las temperaturas (aún a 288°C), esta

TABLA 3.2

CANTIDAD Y TIPO DE MATERIALES NECESARIOS PARA PREPARAR 100 BARRILES DE LODO TOTAL USANDO KENOL-S CON CLORURO DE CALCIO.

DENSIDAD REQUERIDA	PROPORCION PETROLEO/AGUA	SACOS DE BARITA	BARRILES DE DIESEL	() BARRILES DE AGUA SALADA
8.5	60/40	4.5	57.3	38.0
9.0	61/39	32.8	57.0	36.4
9.5	62/38	60.5	56.8	34.8
10	63/37	90.0	56.5	33.2
10.5	64/66	118.3	56.2	31.7
11	65/35	147.2	56.0	30.1
11.5	66/34	176.0	55.6	28.6
12	67/33	204.7	55.2	27.2
12.5	68/32	233.3	54.8	25.8
13	69/31	262.5	54.3	24.4
13.5	70/30	290.6	53.8	23.1
14	71/29	319.0	53.3	21.8
14.5	72/28	347.5	52.7	20.5
15	73/27	375.8	52.1	19.3
15.5	74/26	409.4	51.3	18.0
16	75/25	432.4	50.8	17.0
16.5	76/24	460.6	50.2	15.8
17	77/23	487.2	49.5	14.8
17.5	78/22	516.9	48.7	13.7
18	79/21	544.9	47.9	12.7
18.5	80/20	527.8	47.0	11.8
19	81/19	600.0	46.2	10.8

() Estas tablas están basadas usando cloruro de calcio disuelto en agua teniendo una densidad de 10 ppg.

Los productos Ken-Gel y Ken-Cal son usados para el control de la reología en casos necesarios.

El Ken-Cal normalmente se usa en concentraciones de 2ppb y el Ken-Gel lo que sea necesario.

bilidad de emulsión y resistencia de gel a altas temperaturas - sin producir viscosidad alta, reduciendo la posibilidad de de - rumbes durante los viajes. La principal ventaja de la resina VR es su factor de solubilidad en relación con la temperatura lo - que la hace estar presente siempre en el lodo como un sólido pe - gajoso no disuelto que trabaja continuamente como un agente rev o cante lo que da como resultado una mejor estabilidad del pozo y - control de filtrado. Esta resina alcanza su mejor eficacia por - encima de los 121 °C mejorando otros tipos de lodos de emulsión - inversa aparte del IMCO.

IMCO Ken Gel.-

El viscosificante Ken Gel es una arcilla organofílica que provee viscosidad para la suspensión de los materiales densifi - cantes sin aumentar la fase interna acuosa, la resistencia de - gel y control de filtrado adicional en todos los rangos de tempe - ratura.

Los niveles de tratamiento con Ken Gel dependen en gran - parte de la relación aceite-agua y del contenido en sólidos o - densidad del lodo. Para usarlo como viscosificante del lodo el - tratamiento es en general de 1.4 a 2.8 kg/m³. Sin embargo, en to - dos de baja densidad y elevada relación aceite-agua puede ser ne - cesario para alcanzar los resultados deseados, aplicar hasta - 11.5 kg/m³. Deben realizarse ensayos pilotos antes de decidir el - tratamiento a seguir.

El tratamiento con IMCO Ken Gel requiere usualmente por - lo menos una circulación para obtener los resultados definitivos. Los mejores resultados se obtienen generalmente añadiendo el ma - terial en incrementos de 1.4 kg/m³ hasta alcanzar la viscosidad - deseada.

IMCO Ken Cal.- Es un agente humectante líquido que se utiliza para la estabilización de la viscosidad en sistemas que contienen cloruro de calcio o cloruro de sodio como fase interna. - En los lodos en buenas condiciones el aditivo Ken Cal tenderá a fortalecer la emulsión y también a reducir su viscosidad aparente.

En áreas que requieren el empleo de lodos densificados, - los sistemas IMCO Ken Oil se formulan para funcionar en un amplio rango de densidades. Los agentes densificantes básicos que se utilizan en los lodos Ken Oil son: IMCO Bar (sulfato de bario o barita) e IMCO wate (carbonato de calcio).

El aditivo IMCO bar se utiliza para aumentar la densidad de los lodos Kenol-S hasta 2.20 gr/cc conservando el lodo en condiciones de bombeo. Es químicamente inerte y no reacciona con la variedad de aditivos o contaminantes.

La cantidad de IMCO bar necesaria para aumentar la densidad de un lodo puede calcularse por la siguiente fórmula:

$$X = \frac{1.490 (W_2 - W_1)}{35.5 - W_2}$$

donde X es el número de bolsas de 50 kg requeridas por cada 16 m³ de lodo. La adición de 15 bolsas de IMCO bar dará por resultado un aumento de volumen de 159 litros.

El aditivo IMCO wate es un material de carbonato de calcio finamente triturado que se emplea para aumentar la densidad de los lodos Kenol-S hasta 1.28 g/cm³. Es inerte y se suspende fácilmente. El IMCO wate se utiliza principalmente para elimi

nar el efecto del bloqueo por sólidos de una formación productiva. Cualquier bloqueo por sólidos que ocurra puede ser eliminado-facilmente por acidificación con ácido clorhídrico al 15%.

La cantidad de WATE necesaria para aumentar la densidad - de un lodo se puede calcular con la fórmula siguiente:

$$X = \frac{945 (W_2 - W_1)}{22.5 - W_2}$$

donde X es el número de bolsas de 50 kgs. que se requieren para-cada 1 .0 m³ de lodo. La adición de 9.5 bolsas de aditivo IMCO - WATE dará por resultado un aumento de volúmen de 159 litros.

Método de Preparación.-

Los procedimientos de mezclado de los sistemas KENOL-S varían con la localización del equipo de mezcla, es decir si se - trata de la planta de mezclado ó de situaciones para el campo.

Solo deberán de emplearse tanques de acero limpios. Toda-agua, arena, lodo, etc., deben ser retirados de las presas antes de iniciar la operación de mezcla. Las líneas de conexión deben- quedar totalmente libres de lodo. Revisense las líneas y las vál - vulas para que no haya pérdidas:

Preparación de lodos KENOL-S en la planta de mezclado.-

1.- Añadir el volúmen deseado de diesel en el tanque de mezcla,- empleando las precauciones apropiadas.

- 2.- Iniciar la circulación con la bomba y añadir el diesel.
- 3.- Poner en marcha todo el equipo de mezclado disponible en las presas.
- 4.- Añadir el concentrado KENOL-S. Mezclar cuidadosamente hasta que la solución sea homogénea.
- 5.- Agregar el aditivo de cal por medio del embudo usando las precauciones apropiadas. Mezclar cuidadosamente y completamente.
- 6.- Añadir lentamente la cantidad total de agua salada que se empleará, mezclar durante 30 o 45 min.
- 7.- Añadir lentamente resina VR, empleando para ello el embudo.
- 8.- Continuar la mezcla vigorosa por una ó dos horas, con el fin de lograr una emulsión homogénea y estable. Tomar una muestra y verificar visualmente si hay algo que no está bien (VR sedimentada, separación de la emulsión, etc.).
- 9.- Agregar lentamente la cantidad deseada de material densificante a través del embudo.
- 10.-Después de completar la operación precedente, continuar mezclando durante una ó dos horas adicionales.
- 11.-Comprobar que el lodo que se ha preparado es homogéneo (no debe tener sedimentación de material densificante en el fondo del tanque de mezcla).
- 12.-Si el sistema parece ser homogéneo, obtener una muestra de lodo de aproximadamente dos litros y hacer la determinación de las propiedades que se miden normalmente en el pozo.
- 13.-Si el sistema no es homogéneo, se requiere más agitación.

Tabla No. 4.2

ESPECIFICACIONES RECOMENDADAS DE DIESEL PARA USAR EN SISTEMAS DE LODO IMCO KEN OIL.

	Especificaciones típicas preferidas	rango aceptable
Peso específico API	36.0	33.0 - 39.0
Color, Robinson	25	20 - 30
Inflamación, PM °F	152	130 mínimo
Punto de fluidez	- 5	10 - 15
Viscosidad a 100°F SSU	35	--
Carbón (10% del fondo)	0.01	--
Ceniza, %	0.0	--
Azufre de bomba, %	0.16	0.15 - 0.32
Corrosión 3 horas a 212°F	J ₃	--
Número de cetano	50.8	--
Sedimento suspendido	0.1	--
Sedimento disuelto	0.9	--
Número de Bromo	1.43	--
Punto de anilina °F	149	135 mínimo
Indice de diesel	54.5	--
% de aromáticos		--
(-olefinas)	21.8	18 - 30

. Material de punto de fluidez inferior puede ser utilizado pero debe ser verificado en los laboratorios antes de ser utilizado antes de la compra. Petróleos con puntos de fluidez inferiores a -15°F usualmente indican que se ha añadido un depresor de punto de fluidez. Esos depresores causan un debilitamiento de la emulsión con aumento de la viscosidad y de las resistencias.

.. No crítico.

14.- Si el sistema no es lo suficientemente viscoso ó si la barita se está sedimentando, añadir arcilla KEN GEL, 1.42 a 5.71 kg/m³ en forma lenta a través del embudo, para viscosificar el lodo. Mezclar hasta que se haya logrado las propiedades deseadas.

15.- Si después del paso 13 el sistema es demasiado viscoso, añadir 1.42 a 5.71 kg/m³ de aditivo KEN CAL-L para reducir la viscosidad. Para reducir aún más la viscosidad cuando se trata de un lodo demasiado espeso, puede además agregarse uno o dos por ciento de diesel.

Preparación de la emulsión KENOL-S en localización.

- 1.- Preparar la cantidad de agua salada en la presa, teniendo en cuenta la cantidad de lodo imco-KENOL-S que se puede preparar de una vez según la capacidad de la presa.
- 2.- El concentrado KENOL-S debe mezclarse con el diesel antes de mezclar con el agua, si es posible.
- 3.- Añadir el volúmen deseado de diesel y de concentrado a través del embudo, empleando precauciones adecuadas.
- 4.- Agitar la mezcla aceite-agua lo más vigorosamente posible (si el concentrado KENOL-S no se puede añadir al diesel previamente, como se indicó en el punto 2, debe añadirse ahora y mezclar cuidadosamente por una hora).
- 5.- Añadir el aditivo de cal por el embudo y mezclar durante 30 min. empleando las precauciones adecuadas.
- 6.- Añadir lentamente por el embudo la resina VR: mezclar por 15 min.

- 7.- Añadir lentamente el material densificante por el embudo.
- 8.- Agitar el sistema KENOL-S durante una a tres horas hasta producir una emulsión uniforme, antes de bombear hacia el pozo.

Los lodos mencionados anteriormente, son los tipos usados en la perforación de los pozos petroleros de este distrito, pero como mencionamos antes, existen varias formulaciones para lodos de emulsión inversa las cuales, unas son sustituidas por otras - según su eficiencia, costos, facilidad de obtención de reactivos etc., pudiéndose mencionar entre ellos a los lodos Baroid, Prote_xa, Magcobar, etc.

Debido a esto, surgió la necesidad de fijar normas de calidad para dicho producto, realizándose en la mayoría de los materiales usados en la formación de tales lodos.

2.6 Condiciones de trabajo de las emulsiones invertidas.

Las emulsiones son preparadas en una planta de lodo que cuenta con un sistema de agitación similar al existente en los equipos de perforación. De esta planta resulta una emulsión base, sin barita que es transportada a la localización en pipas. Una vez en el pozo, el sistema es densificado de acuerdo con el programa correspondiente.

Las condiciones de trabajo en que se desenvuelven las emulsiones están dentro de los rangos que aparecen a continuación:

Profundidad:	2000 a 4000 m.
Temperatura estática de fondo:	70 a 130°C
Temperatura de circulación:	50 a 100°C
Temperatura en las presas:	40 a 60°C

Las propiedades que en el campo se requieren para este tipo de sistemas están dentro de los rangos de valores siguientes:

Densidad: 1.30 a 1.90 gr/cc
 Relación aceite/agua 60/40 a 80/20

Filtrado APAT (alta presión, alta temperatura): menor de 8 ml. (exento de agua).

Estabilidad eléctrica: Mayor de 200 voltios
 Propiedades reológicas: Las requeridas por el programa hidráulico.
 Salinidad de la fase acuosa: Mayor de 200,000 ppm de NaCl, ó de 250,000 a 350,000 ppm de cloro de calcio.

La preparación de los lodos de emulsión inversa para el uso en el campo se hace generalmente en dos etapas. La primera se lleva a cabo en una planta de lodos y consiste en la preparación del lodo base (relación aceite/agua = 75/25, sin barita) según la formulación proporcionada por el proveedor, el tiempo empleado es de 5 horas y comprende la adición de los productos y la agitación, después de ésto el lodo base queda en condiciones para su transporte a los pozos. La planta referida cuenta con un sistema de cuatro presas interconectadas, sistemas de agitación (accionados eléctricamente) y de circulación, que permiten una preparación simultánea de 80 m^3 , su capacidad de almacenamiento es de aproximadamente 500 m^3 . Las formulaciones para la preparación del lodo base contienen una concentración de productos que implica que no se harán necesarios posteriores adiciones de los mismos, durante la densificación del lodo ni a lo largo de -

la perforación. La segunda etapa de la preparación de las emulsiones, se efectúa en los equipos de perforación (en el pozo) y consiste en la densificación de las mismas según los requerimientos de cada caso. A partir de ese punto el lodo deberá desempeñarse satisfactoriamente sin adiciones de productos, como se anotó anteriormente, excepto cuando se haga necesario incrementar el volúmen.

2.7. .- Evaluación de la calidad de las emulsiones inversas.-

El estudio se inició, tratando de reproducir en el laboratorio, con diferentes tipos de agitadores (multimixer, bomba Jabsco, dispersor y Hamilton Beach), los valores de filtrado APAT - obtenidos en una muestra preparada en la planta de lodos. El tiempo de agitación se mantuvo constante en todas las pruebas. La formulación, para una densidad de 0.92 gr/cc y relación aceite-agua 75/25, empleada en el laboratorio, concentraciones y orden de adición, fue la misma que la utilizada en la planta de lodos, y las muestras de productos usados en el laboratorio fueron representativos de las usadas en la planta. En la tabla 5.2 se observan los resultados obtenidos.

Al ser operados se manifestó que los agitadores tipo multimixer no eran funcionales, en virtud de que la capacidad de sus recipientes es de 350 ml. lo que obliga a una preparación por triplicado para obtener un litro de muestra. Asimismo, la bomba Jabsco resultó incapaz de funcionar correctamente durante los tiempos requeridos para la preparación de la muestra, debido a que su impulsor se daña al operar prolongadamente. Por esta causa, se desecharon los agitadores multimixer y bomba Jabsco.

Los dos tipos de agitación restantes (dispersor y Hamil -

TABLA No. 5.2

Sistema	Número de lote	Preparación en laboratorio			Prep. planta de lodos filtrado APAT 300°F/500 psi/ml).
		Tipo de: agitación	Tiempo de agitación horas	Filtrado APAT 300°F * 500 psi (ml)	
DRILEX	594	Dispensor	3:00	22.0 (4.0)	15.4 (2.2)
DRILEX	594	Hamilton Beach a alta velocidad.	3:00	10.0 (trazas)	
DRILEX	594	Multimixer	3:00	13.0 (0.5).	
DRILEX	594	Bomba Jabsco	3:00	8.6 (0.5)	
<p>* El número fuera del paréntesis es el volúmen en total de filtrado y el número dentro del paréntesis es el volúmen de agua del filtrado.</p>					

ton Beach) se sometieron a una segunda etapa de prueba, ahora con una muestra que en la planta de lodos no filtró agua. La tabla 6.2 muestra los resultados de esta serie. Puede observarse que la agitación con dispersor no reproduce los resultados de la planta con este tipo de muestras. Sin embargo, de los valores obtenidos con el agitador Hamilton Beach surge la idea de que disminuyendo la velocidad de agitación, los filtrados se acercan cada vez más a los obtenidos en la planta. Aunque este criterio se opone al consejo general de las emulsiones, se cree que opera sólo para las emulsiones que no contienen sólidos (barita).

Con base en los resultados anteriores, para la tercera etapa de prueba se desechó la agitación con dispersor y disminuyendo la velocidad de agitación se probó la velocidad mínima obtenible en el agitador Hamilton Beach, pero ahora disminuyendo el tiempo de agitación. La tabla 7.2 presenta los resultados obtenidos en esta serie, observando los resultados se concluye que el procedimiento que reproduce mejor los valores de la planta de lodos, es el de agitar con Hamilton Beach, a baja velocidad, durante 1:30 horas.

Para confirmar la conclusión anterior, se realizó la cuarta serie de pruebas, en la cual se evaluaron diferentes lotes de productos utilizados en la planta de lodo y se compararon los resultados con los obtenidos al preparar en el laboratorio muestras correspondientes. Los resultados se anotan en la tabla 8.2 allí se observa que en todos los casos donde la planta de lodos produce sistemas que dan agua en el filtrado, el método propuesto también arroja resultados semejantes. Por el contrario, cuando el filtrado es sin agua, el laboratorio también los reproduce.

TABLA No. 6.2

Sistema	Número de lote	Preparación en laboratorio			Preparación en - planta de los - Filtrado APAT - 300°F/500 psi - (ml).
		Tipo de agita -	Tiempo de agitación horas.	Filtrado * APAT 300°F 500 psi (ml)	
DRILEX	76	Dispersor	3:00	14.2 (2.2)	6.8 (0.0)
DRILEX	76	Hamilton Beach alta velocidad.	3:00	16.4 (4.0)	
DRILEX	76	Hamilton Beach velocidad Media	3:00	9.6 (1.2)	
DRILEX	76	Hamilton Beach velocidad baja	3:00	10.6 (1.6)	
<p>* El número fuera del paréntesis es el volúmen en total de filtrado y el número dentro del paréntesis es el volúmen de agua filtrado.</p>					

TABLA No. 7.2

Sistema	Número de Lote	Preparación en laboratorio			Prop. Planta Lodos Filtrado - APAT 300°F/500 psi (ml)
		Tipo de agitación.	Tiempo de agitación hrs.	Filtrado APAT 300°F 500 psi (ml)	
DRILEX	79	Hamilton Beach <u>ba</u> ja velocidad.	2:00	8.4 (0.4)	6.8 (0.0)
DRILEX	73	Hamilton Beach <u>ba</u> ja velocidad.	2:00	9.6 (1.0)	
DRILEX	73	Hamilton Beach <u>ba</u> ja velocidad.	1:30	6.6 (trazas)	6.8 (0.0)
DRILEX	73	Hamilton Beach <u>al</u> ta velocidad.	2:00	12.0 (2.0)	

TABLA No. 8.2

Sistema	Número de lote	Preparación en laboratorio			Prep. planta lodos Filtrado APAT 300°F/500 psi (ml).
		Tipo de agitación	Tiempo de agitación	Filtrado APAT 300°F 500 psi (ml)	
DRILEX	594	Hamilton Beach baja velocidad	1:30	100.0 (33.0)	15.4 (2.2)
DRILEX	604, 607, 613, 619.	Hamilton Beach baja velocidad.	1:30	66.0 (56.0)	60.0 (46.0)
DRILEX	627	Hamilton Beach baja velocidad	1:30	16.0 (4.0)	60 (44.0)
DRILEX	618	Hamilton Beach baja velocidad	1:30	23 (17.0)	14.4 (7.2)

El número fuera del paréntesis es el volúmen total de filtrado y el número dentro del paréntesis es el volúmen de agua filtrada.

En el campo, una vez preparado el lodo en la planta, se transporta el pozo donde es densificado de acuerdo con el programa correspondiente. Siguiendo este proceso, se consideró que el lodo-base debe ser densificado en el laboratorio antes de probarse. De la información obtenida se estableció una densidad de 1.60 g/cm^3 y una relación aceite-agua de 75/25, como valor promedio utilizado en el campo. Asimismo, para simular los casos de alta densidad, se estableció la de 2.20 g/cm^3 con una relación aceite-agua de 80/20, como representativa de las condiciones extremas de uso en el campo.

A fin de definir el procedimiento de densificación del lodo base a 1.60 g/cm^3 , se efectuaron pruebas con diferentes tiempos de agitación, los resultados promedio se anotan en la tabla 9.2. De la observación de dicha tabla, se concluyó que en virtud de no haber variación significativa en los valores de los parámetros medidos, el tiempo adecuado para la agitación del sistema densificado debe ser de 30 minutos.

Para la densificación del lodo base a 2.20 gr/cc , se efectuaron pruebas preliminares en las que se encontró que el tiempo de adición de la barita debería ser de 5 minutos; ya que al agregarla en menos tiempo, resultaba una emulsión que impedía su homogenización.

El tiempo de acondicionamiento de la emulsión para elevar la relación de 75/25 a 80/20, se estableció ejecutando una serie de pruebas donde se varió el tiempo de agitación después de adicionar el diesel. Los resultados aparecen en la tabla 11.2. Se observó que usando un tiempo de 5 minutos el aspecto de la emulsión era pastoso el principio, aún cuando posteriormente se inte -

TABLA No. 9.2

Sistema	Tiempo de agitación después de agregar barita - (min).	Propiedades Viscosidad Aparente Va	reológicas Viscosidad plástica Vp	Punto de cedencia Pc	Filtrado APAT 300°F/ 500 psi.
	30	40.0	32.0	16.0	2.8 (0.0)
DRILEX	60	38.5	30.0	17.0	2.1 (0.0)
	90	39.5	32.0	15.0	2.5 (0.0)

TABLA No.10.2

Sistema	Tiempo de agitación después de agregar barita - (min)	Propiedades Viscosidad Aparente Va	reológicas Viscosidad plástica Vp	Punto de cedencia Pc	Filtrado APAT 300°F 500 psi.
DRILEX	30	33.5	25.0	11.0	2.6 (0.0)
BAROID	30	53.0	20.0		
PERFOIL	30	54.0	18.0		
IMCO	30				

TABLA No. 11.2

	Tiempo de agitación después de agregar diesel (min)	Tiempo de agitación después de agregar barita (min)	Propiedades reológicas aparent. plástica Va Vp	Punto de cedencia Pc	Filtrado APAT 300°F 500 psi.
	5	30	56.0 70.5	29.0	3.6(0)
DRILEX	15	30	47.0 64.0	34.0	2.6(0.0)
	30	30	57.0 74.0	34.0	2.9(0.0)

graba la barita. En base a lo anterior y considerando que no hubo diferencia de los resultados obtenidos a 15 y 30 minutos se estableció un tiempo de agitación de 15 minutos para la homogenización de la emulsión.

Por último se definió el tiempo de agitación necesario para integrar la barita al sistema, para esto, se realizó una serie de pruebas donde se varió este tiempo. Los resultados se anotan en la tabla 12.2. Observando la tabla, se nota que no existe una tendencia definida en los resultados, aunque se puede decir que usando un tiempo de 30 minutos se logra un sistema adecuado.

En vista de lo anterior, se pensó que simulando el procedimiento de densificación en el campo se podría obtener un mejor sistema; este procedimiento consiste en llegar primero a una densidad normal (1.60 gr/cc. por ejemplo) y posteriormente elevar la densidad hasta 2.20 gr/cc. Para comprobar la validez de este procedimiento, se realizó una serie de pruebas, ahora con diferente sistema de emulsión inversa. Los resultados aparecen en la tabla 13.2;. De esta, se concluye que el procedimiento de densificación por pasos, con un tiempo de agitación de 30 minutos, es el adecuado para integrar la barita al sistema.

Resumiendo se obtuvo que la emulsión base (relación aceite agua 75/25, sin barita) debería ser preparada en un agitador-Hamilton Beach a baja velocidad y con un tiempo total de agitación de 1.30 hrs. Posteriormente el sistema debería ser llevado a una densidad de 1.60 gr/cc, agregando la barita lentamente y agitando durante 30 minutos más. Para alcanzar la densidad de -

TABLA No. 12.2

Sistema	Tiempo de agitación después de agregar diesel - (min)	Tiempo de agitación después de agregar barita (min)	Propiedades reológicas		Punto de cedencia Pc	Filtrado 300°F 500 Psi
			Viscosidad Aparen- te va	Plástica Vp		
DRILEX	15	30	68.0	90.0	44.0	3.6 (0.0)
	15	60	62.0	81.0	38.0	2.7 (0.0)
	15	90	55.0	88.0	40.0	3.1 (0.0)

TABLA No. 13.2

Sistema	Tiempo de agitación después de agregar diesel - (min)	Tiempo de agitación después de agregar barita (min)	Propiedades reológicas		Punto de cedencia Pc	Filtrado APAT 300°F 500 psi
			Viscosidad- Aparen- te va	Plástica Vp		
DRILEX	15	30	54.5	42.0	25.0	2.4(0.0)
BAROID	15	30	120.0	94.0	52.0	1.0(0.0)
PERFOIL	15	30	*	*	*	*

* La emulsión presentó un aspecto pastoso no homogéneo

2.20 gr/cc se debe partir de la densidad de 1.60 gr/cc y a esta agregarle el diesel necesario para cambiar la relación aceite-agua a 80/20, acondicionar agitando durante 15 minutos, agregar la barita lentamente, en 5 minutos, y continuar la agitación durante 30 min. más.

2.8 Evaluación de las emulsiones.

Tomando en cuenta la experiencia tanto en el laboratorio, dentro del control de calidad de estos sistemas, como en el uso de las emulsiones inversas en el campo, se llegó a establecer que para determinar la calidad de dichos fluidos de perforación se requiere medir los siguientes parámetros:

a).- Filtrado alta presión, alta temperatura (APAT).

Esta prueba simula la pérdida de fluido que sufre un sistema de lodo al estar frente a una formación permeable. Además, en los sistemas de emulsión inversa el filtrado muestra la estabilidad de la misma, pues cuando contiene agua libre indica una inestabilidad de la emulsión. El método A.P.T. para determinar el filtrado de alta presión y alta temperatura es aceptado en todo el mundo y sólo es necesario fijar las condiciones de temperatura de la prueba. Se considera que una temperatura de 149°C (300°F) es suficiente para simular las condiciones de trabajo más drásticas en los campos petroleros del país.

b).- Efecto de la temperatura sobre la reología.

Esta determinación tiene por objeto medir los efectos de la temperatura sobre la reología del sistema. Se considera que debe simular las condiciones estáticas de una prolongada suspensión de la circulación del lodo. La diferencia entre las lecturas en el viscosímetro Fann VG-35 indicará el cambio sufrido por el sistema al ser añejado estáticamente a una temperatura de 149°C (300°F) y presión de 35 kg/cm², durante un período de 18 a 24 horas. Las determinaciones en el viscosímetro deben ser a 50°C (122°F) por considerarse este un valor promedio de la temperatura del lodo, en -

la línea de flote, por lo demás, el procedimiento de prueba es el mismo que se viene usando en el método vigente para emulsiones inversas desde 1967 hasta la fecha.

c).- Resistencia a la contaminación con arcilla.

Esta prueba simula la incorporación de arcillas activas al sistema, que puede ocurrir cuando se perforan formaciones lutíticas no consolidadas y/o cuando fallan los equipos de eliminación de sólidos. La base para establecer el criterio acerca de la magnitud de la contaminación es el trabajo de Sinha; donde se demuestra que para un lodo con densidad de 1.60 gr/cc, el porcentaje en volumen de sólidos normal es del orden de 23% y el máximo permisible es de 28%, es decir, una contaminación del 5% en volumen de una arcilla, prehidratada (activada) el 15% con una salmuera tipo.

Esta salmuera se prepara disolviendo 235 g de cloruro de sodio y 28 g de cloruro de calcio en agua bidestilada, y aforando a 1000 ml. Para establecer el procedimiento de prueba, se ejecutaron una serie de experimentaciones con diferentes sistemas de emulsión inversa. En la tabla 14.2 se observan los resultados, donde se concluye que los sistemas contaminados presentan un incremento en la reología y los filtrados, en los casos de las muestras que previamente no pasaron el control de calidad, las muestras que si cumplieron con las especificaciones no presentan esas anomalías.

d).- Resistencia a la contaminación con agua.

La contaminación en esta ocasión es provocada por la adición de agua al sistema, bien sea mediante un flujo de agua sala

TABLA No.14.2

Sistema	Grado de contaminación - c/arcilla(1) % Vel.	Muestras sin arcilla			Muestra con arcilla		
		L ₆₀₀	L ₁₀₀	Filtrado APAT 300°F 500 psi (ml)	L ₆₀₀	L ₁₀₀	Filtrado APAT 300°F/500 Psi (ml)
Drilex A	5.0	63.0	20.0	3.3(0.0)	83.0	32.0	7.0 (0.0)
Drilex B	5.0	63.0	18.0	4.0(0.0)	76.0	17.0	8.0(trazas)
Drilex C	5.0	58.0	17.0	4.6(0.0)	72.0	23.0	8.7(0.0)
Imco	5.0	90.0	36.0	5.3(0.0)	174.0	92.0	8.0 (0.0)

(1) Arcilla prehidratada al 15% con salmuera tipo.

Satisface las especificaciones del método vigente de control de calidad

No satisface las especificaciones del método vigente de control de calidad.

TABLA No. 15.2

Sistema	Grado de contaminación (% Vel.)	Tiempo de agitación después de agregar - agua (l) (min)	Filtrado APAT 300°F/500 psi (ml)	
			M. directa	M.contaminada
DRILEX	10.0	30.0	3.3(0.0)	2.8(0.0)
BARCID	10.0	30.0	1.0(0.0)	3.6(0.0)
IMCO	10.0	30.0	5.3(0.0)	1.6(0.0)

(1) Salmuera tipo

da ó por la incorporación de agua en la superficie. Se estableció que la mayor fuente de esta contaminación es la entrada de agua salada al pozo y por lo tanto, se puede afirmar que un incremento de volúmen del 10% es el máximo permisible en condiciones normales de operación. Sobre esta base, se definió que la magnitud de la contaminación en el laboratorio debe ser del 10% del volúmen de la muestra. La salinidad del agua contaminante, se estableció considerando el promedio de salinidad del agua en la formación de diferentes campos de desarrollo y que para efectos de prueba en el laboratorio llamamos salmuera tipo. Esta salmuera se prepara tal como se especificó en el inciso C. Los efectos de la contaminación del sistema de emulsión inversa con agua, se manifiesta en un incremento del filtrado APAT. En la tabla número 15.2 se muestran los resultados en los que se observa, en general que los sistemas de emulsión inversa contaminados con agua exhiben un aumento en el filtrado APAT y tienden a filtrar agua. Esto demuestra una ligera inestabilidad en la emulsión. Las muestras que previamente no pasaron el control de calidad con el método vigente, presentaron trazas de agua en el filtrado APAT.

Con el objeto de establecer el tiempo necesario de agitación para homogenizar la emulsión contaminada con agua, se realizaron pruebas variando dicho tiempo. La tabla número 16.2 muestra los resultados obtenidos. Puede observarse que no hay diferencias sensibles en los filtrados, al agitar 15 ó 30 minutos. Por tanto se estableció que la muestra debía ser agitada durante 30 minutos.

e.- Asentamiento de barita.

Esta prueba se efectúa para determinar las propiedades de suspensión de la barita del sistema cuando es el caso de altas con

TABLA No. 16.2

Sistema	Grado de contaminación (% de vol.)	Tiempo de agi- tación después de agregar - agua ¹⁾ (minutos)	Filtrado APAT 300°F/ 500 psi ml.
Drilex	10.0	15	2.0(0.0)
	10.0	30	3.8(0.0)

1) Salmuera tipo.

centraciones de este material en el fluido de emulsión inversa. La prueba simula un período largo de suspensión de circulación de un lodo de alta densidad, este se logra añejando el sistema estáticamente a una temperatura de 149°C (300°F) y 500 lb/pulg² de presión durante un período de 18 a 24 horas. El asentamiento de la barita se mide por la altura del sedimento en el fondo de la celda de añejamiento y la consistencia del mismo.

El procedimiento para esta prueba se basa en el recomendado por el Método Vigente para Emulsiones inversas, con ligeras variaciones en lo referente al modo de medir la altura y consistencia del sedimento.

2.9 ESPECIFICACIONES DE CALIDAD DE LAS EMULSIONES.-

El criterio para fijar las especificaciones de calidad de una emulsión inversa, fue que correspondan a los requerimientos que el campo ha establecido para la utilización de dicha emulsión.

Inicialmente se pensó en establecer la relación que existe entre las propiedades del fluido utilizado y la calidad del agujero obtenido, medida ésta como calibre de agujero y velocidad de penetración, pero no fue posible en virtud de la escasez de los datos de información.

Para establecer la correlación entre el valor del filtrado y el calibre del agujero, se agrupan estos datos para cada una de las formaciones. Con la intención de lograr una relación funcional entre los parámetros analizados, se calculan -

las medias ponderadas de la desviación de calibre, correspondientes a cada valor de filtrado encontrado en la información. A cada conjunto de datos se le ajusta una recta, por el método de mínimos cuadrados y se traza su gráfica. Observando los resultados se concluye que no existe una tendencia definida entre la desviación del calibre del agujero perforado y el valor de filtrado del fluido usado.

Por lo anterior, se consideró que las especificaciones de calidad de las emulsiones fueran fijadas directamente por los valores aceptados en el campo para el filtrado de los fluidos de emulsión inversa.

De acuerdo a este último criterio se establecieron las siguientes especificaciones para el control de calidad de las emulsiones inversas:

Determinación

Especificación

Filtrado APAT, 149°C y
35 kg/cm² ml

8.0 máximo (exento de agua)

Efecto de la temperatura sobre la reología:

Diferencia de las lecturas antes y después de añejar, en viscosímetro fann VG-35, a 50°C

a 600 rpm, unidades:

De - 10 a + 20

a 100 rpm, unidades:

De - 10 a) 20

Resistencia a la contaminación con arcilla. -
Efecto sobre la reología:

Diferencia de las lecturas antes y después de contaminar, en viscosímetro fann GV-35 a 50°C

600 rpm, unidades: De - 10 a + 20

100 rpm, unidades: De - 10 a + 20

Efectos sobre el filtrado APAT a 149°C y 35 kg/cm², ml

8.0 máximo (exento de agua)

Resistencia a la contaminación con agua

Efecto sobre el filtrado APAT a 149°C y 35 kg/cm². ml.

8.0 máximo (exento de agua)

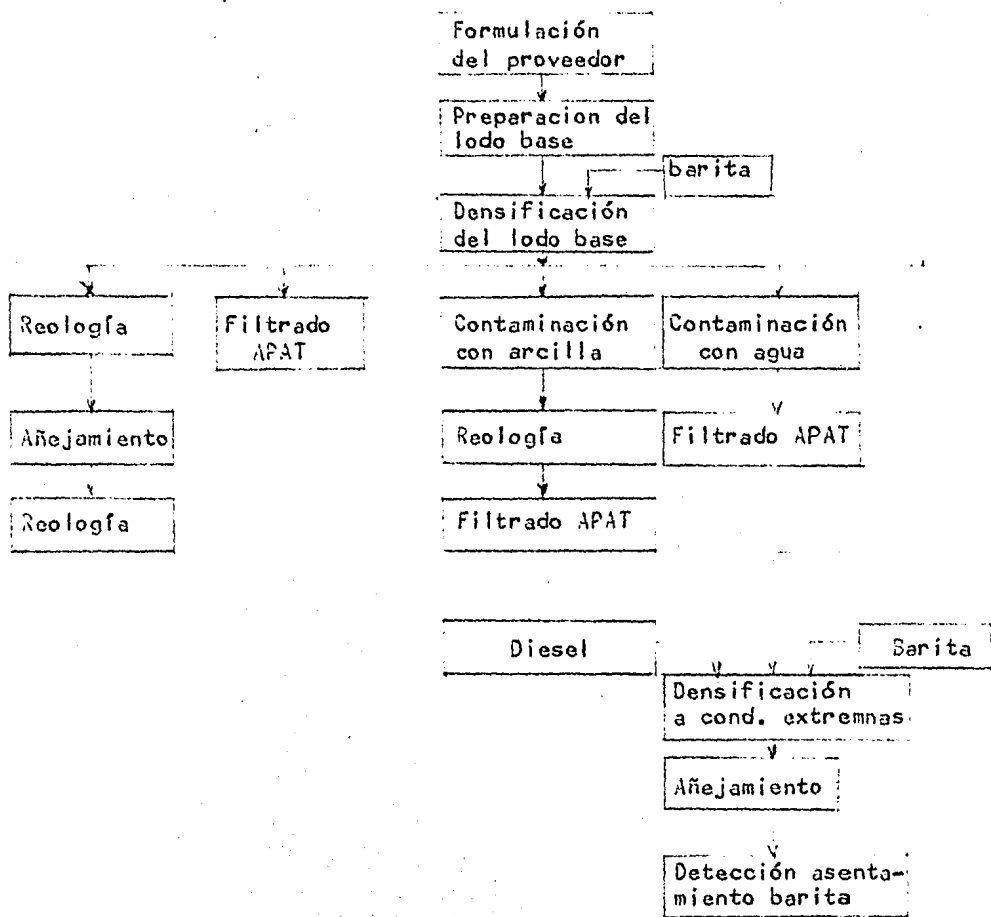
Suspensión de barita:

Altura de sedimento mm 5.0 máximo

Consistencia del sedimento mayor de 5 mm debe ser suave.

A continuación se describen los procedimientos de prueba y especificaciones y el diagrama de flujo del análisis.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL ANALISIS DE CONTROL DE CALIDAD DE EMULSIONES INVERSAS



2.10 METODOS DE PREPARACION.-

a.-PREPARACION DEL LODO BASE.-

Se preparan 1000 ml de una emulsión de relación aceite/agua 75/25, sin barita, de acuerdo con el siguiente procedimiento:- En un vaso metálico de 2000 ml, se prepara un litro de la emulsión de acuerdo con las concentraciones y orden de adición de los componentes que el proveedor establece en la formulación correspondiente. Agitar en Hamilton Beach a baja velocidad (9000 rpm) adicionando los componentes en intervalos de 15 minutos.

b).- Se continúa la agitación después de la adición de los componentes, a la misma velocidad hasta completar 1:30 horas.

c).- Según sea el tipo de la emulsión inversa el electrolito será de 350.000 ppm de CaCl_2 ó agua saturada de NaCl.

DENSIFICACION DEL LODO BASE.-

El lodo base preparado se densifica con barita I.M.P. hasta 1.60g/cc de acuerdo con el siguiente procedimiento:

a).- Se continua la agitación del lodo base en el Hamilton Beach, a baja velocidad, agregando muy lentamente la barita necesaria para densificar a 1.60 g/cc, continuando la agitación hasta completar 30 minutos.

DENSIFICACION A CONDICIONES EXTREMAS.-

Se preparan aproximadamente 500 ml de emulsión con relación aceite/agua = 80/20 y densidad de 2.20 g/cc, de acuerdo con el siguiente procedimiento:

a).- Se toman 350 ml del lodo preparado en el inciso anterior y se pasan a un vaso metálico estándar. Se coloca el vaso en un agitador Hamilton Beach y se agita a baja velocidad, agregándole el diesel necesario para elevar la relación aceite/agua de 75/25 a 80/20, continuándose la agitación durante 15 minutos más.

b).- Al cabo de este tiempo, se agrega la barita necesaria para elevar la densidad de 1.60 a 2.20 g/cc. La adición de la barita debe hacerse muy lentamente (en un tiempo mínimo de 5 minutos) y se completa el tiempo de agitación a 30 minutos.

2.1.1 PROCEDIMIENTOS DE EVALUACION.-

a).-DETERMINACION DEL FILTRADO ALTA PRESION.-

A la muestra se le determina el filtrado APAT de acuerdo con el siguiente procedimiento:

b).- Se precalienta la chaqueta del filtro prensa a la temperatura de 176°C (350°F).

c).- Se llena la celda del filtro prensa con la muestra recién agitada durante un minuto en Multimixer, hasta un cm. abajo del borde inferior de la tapa. Se colocan el papel filtro y empaque correspondiente. Se cierra la celda.

d).- Se coloca la celda en la chaqueta de calentamiento e inmediatamente se le aplican 7 kg/cm^2 (100 psi) de presión de CO_2 , dejando abierta la válvula superior de la celda. Se coloca el receptáculo de contrapresión, limpio y seco. Se coloca una probeta graduada de 10 ml en el orificio de salida de la válvula inferior del receptáculo de contrapresión.

e).- Se observa la temperatura de la celda y cuando alcance 149°C se controla el termostato de la chaqueta de calentamiento, cuidando que la temperatura de la celda se mantenga dentro de un rango de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ (5°F).

Se aplican 42 kg/cm^2 (600 psi) de presión de CO_2 a la celda. Inmediatamente se aplican 7 kg/cm^2 de presión de CO_2 al receptáculo de contrapresión y se abre la válvula inferior de la celda, iniciándose el período de prueba en ese momento.

f).- A intervalos convenientes se purga el contenido del receptáculo de contrapresión, cuidando que la presión dentro - del mismo, no se abata más allá de 6.3 kg/cm^2 (90 psi).

Al cabo de 30 minutos de prueba se cierra la válvula inferior de la celda y se vacía totalmente el receptáculo de contrapresión. Se retira la probeta que contiene el filtrado. Se - cierra la fuente de presión.

g).- Se reporta el filtrado APAT a 149°C y 35 kg/cm^2 , - como el doble del volúmen leído en la probeta. El volúmen re - sultante de agua en caso de haberla, se inscribirá entre parén - tesis inmediatamente después del volúmen total de filtrado.

2.12 DETERMINACION DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA REOLOGIA.-

A la muestra preparada se le determina el efecto de la temperatura sobre la reología de acuerdo con el siguiente procedimiento:

a).- En el multimixer se agitan 300 ml de la muestra durante un minuto.

b).- Con la muestra recién agitada, se llena la copa térmica viscosímetro Fann VG-35, previamente conectada y calentada.

c).- La copa se coloca en el viscosímetro y se conecta el motor a la velocidad alta (600 rpm) para que la muestra se agite mientras se calienta. El termostato se controla para que la muestra se caliente a 50°C (122°F) $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

d).- Al cabo de un minuto, se toma la lectura del aparato y se anota como: "Lectura a 600 rpm antes de añejar".

e).- El contenido de la copa térmica se pasa a una celda de añejamiento, vaciando además, el resto de los 300 ml de muestra agitada. Se cierra la celda y se presuriza con CO_2 a 35 kg/cm^2 (500 psi). Se añeja en una estufa a 149°C durante 18 a 24 horas.

f).- Al cabo del período de añejamiento, la celda se enfría a temperatura ambiente, Se verifica que la celda continúe presionada abriendo la válvula y escuchando el silbido del gas al escapar. En caso de no apreciar escape de gas, la prueba deberá repetirse. El contenido de la celda se vacía en un vaso metálico estándar y se agita en Multimixer durante un minuto.

g).- Se determinan las lecturas a 600 y 100 rpm a la temperatura de 50°C, siguiendo los pasos antes descritos con la sal - vedad de que ahora las lecturas se anotan como: "después de añe - jar".

Se reporta el efecto de la temperatura sobre la reología, como las unidades de diferencia de las lecturas antes y después de añejar, para cada velocidad de corte.

2.13 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA CONTAMINACION CON ARCILLA.4

A la muestra preparada se le determina la resistencia a la contaminación con arcilla de acuerdo con el siguiente procedi - miento:

a).- La salmuera tipo se prepara disolviendo 235 g de NaCl y 28 g de CaCl_2 en agua bidestilada aforando a 1000 ml.

b).- A 28.75 g de arcilla IMP-1 se adicionan 4.3 g de salmuera tipo y se mezcla. Esta es la arcilla prehidratada (activada).

c).- En un vaso metálico estandar se vacían 400 g de la emulsión. Mientras se agita la muestra en multimixer, se adiciona la arcilla IMP-1 prehidratada (33.0g).

d).- Después de 30 minutos de agitar la emulsión contami - nada, se le determina su reología a 50°C. Los resultados de las - lecturas se anotan como: Lectura a 600 rpm y Lectura a 100 rpm, - después de contaminar.

e).- A la muestra contaminada se le determina el filtra - do APAT.

f).- Los resultados de la resistencia a la contaminación con arcilla se reportan como ml. de filtrado APAT y diferencias de las lecturas a 600 y 100 rpm respectivamente, antes y después de contaminar la emulsión.

2.14 DETERMINACION DE LA CONTAMINACION CON AGUA.-

A la muestra preparada, se le determina la resistencia a la contaminación con agua de acuerdo con el siguiente procedimiento:

a).- En un vaso metálico estandar se pesan 400 g de la muestra y se agita en Multimixer.

b).- Inmediatamente se agregan lentamente, 25 ml de la salmuera tipo preparada.

c).- A la muestra se le determina el filtrado APAT.

d).- La resistencia a la contaminación con agua se reporta como ml de filtrado APAT a 149°C y 35 kg/cm².

2.15 DETERMINACION DEL ASENTAMIENTO DE BARITA.-

A la muestra preparada se le determina el asentamiento de barita de acuerdo con el siguiente procedimiento:

a).- La muestra (aproximadamente 500 ml) se agita, durante un minuto, en un Multimixer.

b).- Con la muestra recién agitada, se llena una celda de añejamiento hasta una altura aproximada de 10 cm (300 a 310 ml).

c).- La celda se tapa y se represiona hasta 35 kg/cm² -

con CO_2 , y se añeja en una estufa a 149°C , durante 18 a 24 horas.

d).- Al cabo del período de añejamiento, se enfría la celda a temperatura ambiente. Se verifica que la celda continúe presionada abriendo la válvula y escuchando el silbido del gas al escapar.

En caso de no apreciar escape de gas, deberá repetirse la prueba.

e).- Se mide la altura de sedimento, introduciendo el extremo de una reglilla metálica graduada en mm, hasta tocar el fondo de la celda.

f).- En caso de que la altura del sedimento sea mayor de 5 mm, se estimará su consistencia, agitándolo con una espátula.

g).- El asentamiento de barita se reporta como mm de altura del sedimento; en caso de que esta altura exceda de 5 mm, se reporta la consistencia del sedimento como suave ó dura.

ESPECIFICACIONES DE CALIDAD.-

<u>Determinación</u>	<u>Especificación.</u>
Filtrado APAT, 149°C y 35 kg/cm^2 , ml	8.0 máximo (exento de agua)
Efecto de temperatura sobre la reología: Diferencia de lecturas antes y después de añejar, en viscosímetro - Fann-VG-35, a 50°C	
L a 600 rpm, unidades	de - 10 a + 20
L a 100 rpm, unidades	de - 10 a + 20

DeterminaciónEspecificación.

Resistencia a la contaminación con arcilla. Efecto sobre la reología:

Diferencia de lecturas antes y después de contaminar, en viscosímetro Fann VG-35, a 50°C:

600 rpm, unidades

de - 10 a + 20

100 rpm, unidades

de - 10 a + 20

Efecto sobre el filtrado APAT a 149°C y 35 kg/cm²

ml.

8.0 máximo (exento de agua)

Resistencia a la contaminación con agua.

Efecto sobre el filtrado APAT a 149°C y 35 kg/cm²,

ml.

8.0 máximo (exento de agua)

Suspensión de barita:

Altura del sedimento, mm

5.0 máximo (exento de agua)

Consistencia del sedimento mayor de 5 mm

Debe ser suave.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.-

Del estudio realizado se obtienen las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- 1.- Se estableció un método de preparación de emulsiones inversas en el laboratorio, que reproduce los resultados obtenidos en la planta de lodos.

- 2.- Se revisaron los criterios de evaluación de las emulsiones inversas; confirmando de esta manera, un nuevo procedimiento para evaluar las propiedades de estos sistemas.

- 3.- Finalmente, se propone un método para controlar la calidad de las emulsiones inversas, Dicho método permite realizar dicha evaluación en la mitad del tiempo empleado con el método vigente y las especificaciones de calidad propuestas se apegan a los requerimientos del campo.

2.16. METODO VIGENTE PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE EMULSIONES INVERSAS.-

PREPARACION DE LODOS DE EMULSION INVERSA.-

- a).- Se preparan con peso específico de 1.50 g/cc las dos emulsiones con relación aceite/agua de 60/40 y 70/30.
- b).- Se prepara otra emulsión de peso específico 2.20 g/cc relación aceite/agua de 80/20.

METODO DE PREPARACION.-

APARATOS Y EQUIPO.-

- a).- Agitador tipo dispersor, premier Mill Corp, serie 2000, con cabeza duplex.
- b).- Recipiente de vidrio que teniendo un diámetro de 15.5 cm tenga una capacidad aproximada a 4 litros.
- c).- Agitador tipo Multimixer, modelo 9-B con una sola propela 9B29B en la parte inferior.
- d).- Vasos metálicos apropiados para el mezclador Multimixer.
- e).- Probeta de 1000 ml de capacidad.
- f).- Medidor de intervalos con alarma (reloj)
- g).- Filtro prensa de alta presión y alta temperatura.
- h).- Viscosímetro Fann 39.
- i).- Celda de rolar de acero inoxidable ó de bronce, con válvula, para soportar presión mínima de 500 lb/pul² y aceptar un volumen de 500 ml.
- j).- Estufa de convección.
- k).- Probador de emulsión Fann.

MATERIALES Y REACTIVOS.-

- a).- Agua bidestilada que tenga disuelto al 5% cloruro de sodio - purificado.
- b).- Diesel des-emulsionado.
- c).- Materiales empleados por el proveedor.
- d).- Agua bidestilada.
- e).- Arcilla IMP-1.

PREPARACION DEL LODO BASE.-

- a).- De acuerdo con la literatura del proveedor se adicionan los materiales en las concentraciones y en el orden que recomiendan para cada relación aceite/agua y peso específico deseado.
- b).- Agitando con el dispersor a 13,300 rpm (\pm 85 graduación del regulador) se adicionan los reactivos, a un recipiente apropiado, con intervalos de 15 minutos de agitación.
- c).- Se continúa la agitación, a la misma velocidad, hasta completar un total de 4 horas.
- d).- El aceite diesel exento de des-emulsionante se prepara empleando un recipiente apropiado con 10 litros de diesel, agitando con dispersor a 10,000 rpm (\pm 65 lectura del regulador), agregando lentamente un kilogramo de arcilla IMP-1, completando una hora de agitación, dejándolo reposar por unas horas y decantándolo para su empleo en las emulsiones inversas.

DETERMINACION DE PROPIEDADES.-**FILTRACION A TEMPERATURA Y PRESION.-**

A las dos emulsiones inversas preparadas con relación a aceite/agua de 60/40 y 70/30, cada una con peso específico de 1.50 g/cc, se les determina:

- a).- Filtrado a baja presión (100 lb/pul^2 y temperatura ambiente - por 30 minutos de tiempo de filtrado, previa agitación de 5 minutos en Multimixer.
- b).- Para ser aceptados los productos, el volúmen de filtrado, sin corrección, deberá ser de 3.0 cc, máximo exento de agua.
- c).- Filtrado a alta presión ($35.15 \text{ kg/cm}^2 = 500 \text{ lb/pul}^2$ y a una alta temperatura de $177.8^\circ\text{C} = 350^\circ\text{F}$, con un tiempo de filtrado de 30 minutos, con agitación previa de 5 minutos en Multimixer.
- d).- Para ser aceptados los productos se aceptarán filtrados de -- 11.0 cc, como máximo, exentos de agua libre. (Los cc de filtrado obtenidos se multiplican por 2 como corrección a la superficie filtrante, que son los cc que se reportan).

CARACTERISTICAS DE SUSPENSION Y ESTABILIDAD TERMICA.-

- a).- La emulsión inversa, relación aceite/agua 80/20 y densidad - 2.20 g/cc, se agita 5 minutos en Multimixer y se pasa para su añejado a una celda de acero inoxidable (con valvúla que soporte altas presiones) presurizadas con 500 lb/pul^2 calentándose estáticamente en la estufa a 177°C con un tiempo de añejado de 18 a 24 horas.
- b).- Se enfría la celda hasta la temperatura ambiente, se le abate la presión y se le determina:
- c).- Altura del sedimento y consistencia del mismo.
- d).- Se pasa el contenido de la emulsión inversa de la celda a un vaso metálico de Multimixer y se agita 5 minutos en agitador-Multimixer.
- e).- Se le determina filtrado APAT a una temperatura de 177°C y -

presión de 35.15 kg/cm^2 por 30 minutos de tiempo de filtrado.

f).- Serán aceptables los productos que tengan: 3.0cm de altura -
máximo de sedimento ó torta, consistencia suave del mismo, -
10.0 ml. como máximo de un filtrado APAT que no tenga agua -
libre.

CARACTERISTICAS DE ESTABILIDAD ELECTRICA.-

a).- Las tres E.l. preparadas, relación aceite/agua 60/40 y 70/30, con densidad de 1.50; así como también la de relación aceite/agua 80/20, densidad 2.20. Se agitan 5 minutos en dispersor a una velocidad de 13,300 rpm (± 85 graduación del regulador) en recipiente apropiado.

b).- Se deja enfriar hasta que quede a la temperatura ambiente.

c).- Se agita nuevamente por 15 minutos.

d).- Se le da un reposo de 10 minutos.

e).- De inmediato se introduce el electrodo del probador eléctrico de emulsiones (Fann emulsión tester) reportándose el voltaje máximo que alcance.

f).- Se considera como buenas las emulsiones que soporten un mínimo de 160 volts.

REOLOGIA

a).- Las dos E.l. relación aceite/agua 60/40 y 70/30, cada una con densidad de 1.50 g/cc, preparadas, se enfrían hasta temperatura ambiente, se agitan en Multimixer durante 5 minutos.

b).- A cada emulsión se le corre su programa por separado, en hoja exclusiva. A esta primera curva obtenida se le anota "sin añejar".

c).- Los dos lodos de E.l. 60/40 y 70/30, de 1.50 se pasan a celdas de alta presión, presurizadas a 35.15 kg/cm^2 (500 lb/pulg^2)

y temperatura de 177.5°C añejados estáticamente en la estufa por 18 horas mínimo a 24 horas máximo. Se enfrían las celdas hasta que el lodo de E.l. quede a temperatura ambiente. Se agitan 5 minutos en vaso metálico, con Multimixer. A cada emulsión se le corre su reograma, por separado y en la hoja correspondiente.- A esta segunda curva se le anota "añejada"

- d).- Las lecturas correspondientes a 100 rpm (añejadas y sin añejar) y a 600 rpm (añejada y sin añejar) sus diferencias no deben ser mayores de 20 unidades entre las dos lecturas para que la emulsión sea aceptada.

RESISTENCIA A LA CONTAMINACION DE ARCILLAS.-

- a).- Las dos E.l. relación aceite/agua 60/40 y 70/30, cada una con densidad de 1.50 g/cc, se vacían 350 ml de cada una en vaso metálico, se agitan en Multimixer, y con agitación se le adicionan lentamente 25.0 g de arcilla IMP-1. Se agita un tiempo de 2 horas pero interrumpiendo la agitación por 5 minutos a cada 30 minutos de agitación para evitar el sobrecalentamiento.
- b).- Se les determina la pérdida de agua con un filtrado APAT, estáticamente, a 177.8°C y a 35.15 kg/cm^2 (500 lb/pul^2) con un tiempo de filtración de 30 minutos.
- c).- No son aceptables los E.l. si el filtrado APAT es mayor de 23 cc ó si presenta agua libre.
- d).- No son aceptables las emulsiones inversas si durante las dos horas de agitación, la emulsión cambia su aspecto en función de su fluidez, de su consistencia, de su estabilidad, es decir si se "corta".

RESISTENCIA A LA CONTAMINACION CON AGUA.-

- a).- La E.l., relación aceite/agua 70/30, $d = 1.50$ g/cc, se pasan 250 ml en un vaso metálico, se agita en Multimixer, y con -- agitación se le adicionan 100 ml de agua bidestilada y de inmediato pero lentamente 100 g de barita.
- b).- Se lleva a agitación con un tiempo total de 30 minutos.
- c).- Se le determina pérdida de agua con un filtrado APAT, estáticamente, a una temperatura de 177.8°C , a una presión de 35.15 kg/cm^2 y a un tiempo de filtrado de 30 minutos.
- d).- No es aceptable la E.l. si el filtrado es mayor de 12 ml ó - si el filtrado contiene agua libre.

CAPITULO III

3.1 ANALISIS Y TRATAMIENTO DE LODOS EN EL CONTROL DE PROBLEMAS DURANTE LA PERFORACION.-

Las propiedades físicas y químicas de un lodo de perforación deben ser controladas debidamente para asegurar un desempeño adecuado del lodo durante las operaciones de perforación. Estas son verificadas diariamente y se registran en un formulario junto con las operaciones que se llevan a cabo en cada uno de los tres turnos de trabajo.

Para los lodos de emulsión inversa los análisis que se practican en el campo son:

- 1.- Densidad del lodo.
- 2.- Propiedades reológicas
 - a)- Viscosidad de embudo.
 - b)- Viscosidad aparente.
 - c)- Viscosidad plástica.
 - d)- Punto de cedencia.
- 3.- Características de filtración.
- 4.- Alcalinidad.
- 5.- Concentración de sal (cloruros).
- 6.- Contenido total de sólidos.
- 7.- Contenido de petróleo.
- 8.- Contenido de agua.
- 9.- Estabilidad de la emulsión.

DENSIDAD DEL LODO.-

La determinación y el control de la densidad de los lodos es esencial para el desempeño de algunas funciones básicas, -

tales como evitar el flujo de hidrocarburos y de otros fluídos - al pozo y el de evitar derrumbes. También es necesario el valor-- de la densidad para efectuar cálculos hidráulicos, cálculos de - contenido de diversas clases de sólidos en el lodo, de consumo -- de materiales para aumentar ó disminuir la densidad, etc.

La densidad del lodo se determina utilizando una balanza- de lodo, que consiste en una taza montada en el extremo de un bra- zo graduado. Una cuchilla del brazo reposa sobre una base de apo- yo. Una pesa corrediza se acerca ó se aleja de la cuchilla hasta- balancear la taza llena de lodo, leyéndose la densidad directamen- te.

PROPIEDADES REOLOGICAS.-

La reología es la ciencia de la deformación y flujo de la materia y su estudio ha contribuído mucho a clarificar ideas re- lativas a la naturaleza de los sistemas coloidales.

La reología es también un campo de enorme importancia tec- nológica todavía en aumento. en muchas industrias, tales como las de plásticos, alimentos, pinturas y textiles, para las cuales se- juzga si un producto es apropiado ó no, en gran parte basado en - sus propiedades mecánicas.

El comportamiento reológico más sencillo es el que presen- tan por una parte, los fluídos viscosos newtonianos y, por otra,- los sólidos elásticos de Hook. Sin embargo, la mayoría de los ma- teriales y en especial los de naturaleza coloidal, tienen un com- portamiento mecánico que es intermedio entre estos dos extremos-- con características viscosas y elásticas. Estos materiales se lla- man viscoelásticos.

El comportamiento reológico de los sistemas coloidales realmente es muy complicado y refleja no sólo las características de las partículas individualmente, sino también las interacciones partícula-partícula y partícula disolvente.

La medición de las propiedades reológicas de un lodo es importante para calcular las pérdidas de presión por fricción, para determinar la capacidad del lodo para elevar los recortes y desprendimientos hasta la superficie, para analizar la contaminación del lodo por sólidos, sustancias químicas o temperatura y para determinar los cambios de presión en el interior del pozo durante un viaje.

La mayor parte de los lodos de perforación son suspensiones coloidales y/o emulsiones que se comportan como fluidos plásticos ó no newtonianos, y se asemejan al modelo propuesto por Bingham, por lo que a los lodos de perforación también se les llama líquidos plásticos de Bingham.

El comportamiento de estos líquidos bajo diferentes valores de esfuerzo de corte se caracteriza por dos parámetros: la viscosidad plástica y el punto de cedencia. Se requiere un valor determinado del esfuerzo de corte para obtener una velocidad de corte apreciable. Este valor mínimo del esfuerzo de corte lo denominamos punto o valor de cedencia. El punto de cedencia ó valor inicial del esfuerzo de corte, se debe a una propiedad de estructuración por cargas químicas residuales en las partículas coloidales en suspensión, originando que los lodos en reposo adquieran una consistencia gelatinosa la cual desaparece por agitación.

El valor de la viscosidad plástica depende de los siguientes

tes factores:

- a).- Temperatura del lodo.
- b).- Viscosidad del medio dispersante (fase líquida).
- c).- Concentración de sólidos.
- d).- Forma de sólidos.

La viscosidad plástica es una medida de la resistencia interna al flujo del fluido atribuible a la cantidad, tipo y tamaño de los sólidos presentes en un fluido dado.

Es la expresada como el número de dinas por centímetro -- cuadrado de fuerza tangencial de cizalladura en exceso del valor de cedencia de Bingham que inducirá a una velocidad de cizalladura.

Determinación de la viscosidad con el embudo Marsh.-

Este instrumento se emplea para las determinaciones rutinarias de la viscosidad en los equipos de perforación y los valores que se obtiene con él son útiles como valores comparativos de control.

La viscosidad Marsh se puede definir como el tiempo en segundos que tarda en salir un litro de lodo de un embudo de dimensiones estándar, cuando se pone en el embudo 1500 ³ cm de lodo.

Los valores obtenidos en el embudo Marsh están influenciados por la velocidad y fuerza de la gelatinosidad y por la densidad del lodo. Debido a estas variaciones, las viscosidades obtenidas con el embudo Marsh no se pueden correlacionar con las obtenidas en otros viscosímetros.

El embudo tiene 6 pulgadas de diámetro en la parte supe -

rior y 12 pulgadas de altura. La mitad de la abertura superior es tá cubierta por un cedazo de malla 10 (1/16 de pulgada de abertura), el orificio inferior tiene 3/16 de pulgada de diámetro interior y 2 pulgadas de longitud. La capacidad del embudo, hasta la marca superior es de 1500 cm.³

Procedimiento.-

1).- Sostener el embudo en posición vertical con el dedo índice tapando el orificio de descarga.

2).- Vaciar a través del cedazo, la muestra de lodo recién tomada de la caja de la temblorina, de los canales de lodo ó de cualquier punto donde el lodo esté en agitación.

Por lo general, las muestras que se toman son las de la salida del lodo (inmediatamente después de la temblorina) y en la succión de la bomba.

Determinación de la viscosidad y del punto de cedencia con el viscosímetro rotacional de velocidad variable.-

Esta manera de determinar la viscosidad consiste de un método de rotación en el cual se utiliza un instrumento de cilindros concéntricos.

En éstos instrumentos se logra un gradiente de cizalladura uniforme en toda la muestra, cizallando una lámina delgada del líquido entre dos cilindros concéntricos. El cilindro exterior puede girar a una velocidad constante y la tensión de cizalladura se determina por la deflexión del cilindro interior, que está suspendido de un hilo de torsión. En otros aparatos se gira el cilindro interior mientras el otro permanece estático y lo que se -

mide es la resistencia que ha de vencer el motor.

A una distancia r del cilindro tenemos que:

$$\frac{dv}{dr} = 2w \frac{1/r^2}{1/R_1^2 - 1/R_2^2}$$

donde w es la velocidad angular del cilindro exterior y R_1 y R_2 son los radios del cilindro interior y exterior, respectivamente.

Cuando R_1 y R_2 no son muy distintos, la velocidad de cizalladura a través del espacio entre los cilindros no varía demasiado y puede controlarse por la velocidad de giro. La expresión se aproxima entonces a:

$$\frac{dv}{dr} = \frac{wR}{d}$$

donde d es la distancia entre los cilindros y R el radio medio de los mismos.

El arrastre viscoso sobre el cilindro interior vale $K\theta R$, donde K es la constante de torsión del hilo y θ es la desviación angular del cilindro. Esta fuerza se ejerce sobre una superficie de $2\pi Rh$, donde h es la altura efectiva del líquido en contacto con los cilindros.

Por consiguiente:

$$\eta = \frac{k\theta d}{2 h w R^2}; \quad \eta = \frac{K\theta}{wh}$$

donde K es una constante del aparato que normalmente se obtiene haciendo un calibrado con un líquido de una viscosidad conocida.

En la práctica hay que hacer una corrección debida al extremo del aparato. Si el cilindro interior tiene forma cónica en su extremo inferior, el líquido del fondo del viscosímetro está -

cizallado a la misma velocidad aproximadamente que el líquido - entre las paredes de los cilindros y la corrección del extremo - puede quedar incluida con el calibrado del instrumento para un - cierto nivel de líquido. Otro procedimiento consiste en eliminar - esta corrección haciendo dos medidas con el viscosímetro lleno - hasta distinto nivel ó, para líquidos moderadamente viscosos, co - locando mercurio en el fondo del aparato de manera que el extremo del cilindro interior esté en contacto con el mercurio.

El aparato más utilizado en este distrito es el viscosíme - Fann VG-35. El rotor está accionado por un motor eléctrico de dos velocidades y engranes. El cambio de engranes permite obtener ó - velocidades de rotación de 3, 6, 100, 200, 300 y 600 rpm. La lec - tura del valor del esfuerzo de corte se hace directamente en una - escala. Las lecturas del esfuerzo de corte a 300 y 600 rpm, for - man una recta cuya pendiente es el valor de la viscosidad plásti - ca. Entonces se puede decir que la velocidad plástica es el va - lor del incremento del esfuerzo de corte que produce un aumento - unitario en la velocidad de corte. Las lecturas a 300 y 600 rpm - en el viscosímetro Fann están normalmente dentro del régimen de - flujo laminar de los lodos.

Procedimiento.-

- 1.- Cerciorarse que el voltaje disponible es el correcto.
- 2.- Poner en el vaso una muestra representativa de lodo - (pasando previamente a través de una malla 10, si contiene mate - riales obturantes). Colocar el vaso en su soporte y levántelo has - ta que el rotor quede sumergido en el lodo hasta la marca grabada en dicho rotor.

3).- Se hace girar el rotor a 600 rpm durante el tiempo que tarde en estabilizarse la escala que marca el valor del esfuerzo de corte y se toma esa lectura.

4).- Se toma la lectura a 300 rpm.

Resultados.-

Viscosidad aparente = Lectura a 600/2 en cps.

Viscosidad plástica = Lectura a 600 - lectura a 300 rpm cps.

Punto de cedencia = Lectura a 300 rpm - viscosidad plástica
= lb/100 ft cuadrados.

Gelatinosidad.-

En los flúidos no newtonianos la plasticidad se debe a un retículo estructural continuo que le da rigidez a la muestra y que ha de romperse antes de que pueda haber flujo. Las suspensiones de negro de humo en aceite hidrocarburo al permanecer en reposo, presentan un valor de fluencia y se hacen conductoras debido al contacto entre las partículas de carbono que se extienden a través de todo el sistema. La cizalladura reduce esa conductividad y la adición de aceites defloculantes disminuye la conductividad y el punto de fluencia.

La tixotropía es el equivalente del comportamiento plástico y pseudoplástico que depende del tiempo y aparece por causas -- algo parecidas. Si se deja en reposo un sistema tixotrópico y se le cizalla a una velocidad constante, la velocidad aparente disminuye con el tiempo hasta que se alcanza un equilibrio entre la destrucción de la estructura y su formación de nuevo. Si el sistema deformado se deja en reposo vuelve a adquirir su estructura original.

Procedimiento.-

1).- Llenar el vaso hasta la marca con una muestra de lodo recientemente agitada.

2).- Sumergir el rotor del viscosímetro hasta la marca. - Agite la muestra de 10 a 15 segundos a alta velocidad.

3).- Pare el rotor y espere 10 segundos. Después de los 10 segundos operar el aparato a la velocidad correspondiente a 3 rpm.

4).- Tomar la lectura correspondiente al punto máximo. Esta lectura corresponderá al valor de la gelatinosidad Fann a 0 minutos.

5).- Para obtener la gelatinosidad a 10 minutos, se dejará reposar la muestra anterior durante 10 minutos, al término de este lapso se efectuará nuevamente la lectura a 3 rpm, teniendo mucho cuidado al afectuarla, correspondiente ésta al punto máximo alcanzando antes del rompimiento, en lb/100 pies cuadrados.

Características de filtración.-

La prueba de filtrado consiste en determinar la cantidad de líquido (fase continua del lodo), que se extrae de una muestra de lodo por medio de un filtro prensa de área filtrante especificada después de un intervalo de tiempo de 30 minutos.

El lodo de perforación cuando se coloca sobre ó se le hace circular a través de una formación permeable, perderá parte de su fase líquida hacia el interior de esa formación. Los sólidos del lodo se depositarán sobre las paredes del pozo, en un espesor que idealmente es de 1/32 de pulgada.

El líquido que se pierde por filtración hacia la formación es el filtrado y la velocidad relativa a la cual ocurre este fenómeno es lo que se llama pérdida de filtrado ó de fluido (aceite en nuestro caso). El espesor de los sólidos que quedan retenidos es lo que se llama enjarre.

Por medio de la prueba de filtrado se conoce la habilidad de los componentes sólidos y químicos del lodo para formar una película delgada y de baja permeabilidad.

El valor del filtrado y el espesor del enjarre depende de la concentración y naturaleza de los sólidos en el lodo, especialmente los de dimensiones coloidales; de la concentración y características de los líquidos emulsionados en el lodo.

Los valores adecuados de filtrado y enjarre varían en diferentes áreas y generalmente se rigen por las características de las formaciones perforadas y de las formaciones productoras.

El proceso de filtración debe ser controlado adecuadamente para asegurar un funcionamiento exitoso del lodo. Esto implica control de la tasa ó velocidad de filtración, control del espesor y textura del enjarre y control de las propiedades químicas del enjarre.

El objetivo de un control adecuado de la pérdida de filtrado es formar un enjarre delgado y resistente sobre la superficie de las formaciones permeables e impedir una pérdida excesiva del filtrado. Además el filtrado debe ser compatible con la formación y con los fluidos de la misma. Esto ayuda a mantener un pozo estable y minimiza los daños a la formación. Mediante una atención y control apropiadas a las pérdidas de filtrado se puede ob-

tener los siguientes beneficios:

- 1).- Menor riesgo de aprisionamiento de la tubería.
- 2).- Mayor protección para las formaciones productivas.
- 3).- Mejor interpretabilidad de los perfiles eléctricos.
- 4).- Efectos beneficiosos para la estabilidad del pozo.

En el pozo ocurren dos tipos de filtración: Dinámica y -- Estática. La filtración Estática tiene lugar cuando el lodo no es tá en movimiento. El enjarre se hace más grueso con el tiempo dado que el enjarre restringe el flujo del filtrado, la tasa ó velo ciedad de filtración disminuye con el tiempo. La filtración Dinámi ca tiene lugar cuando el lodo está circulando ó cuando la sarta- rota. Cualquiera de esas dos formas de movimiento erosiona el re- voque. Se alcanza un estado de equilibrio cuando la deposición so bre el enjarre y la tasa de filtración permanecen constantes. Or- dinariamente el enjarre dinámico es más delgado que el enjarre es tático, pero la pérdida de filtrado es mayor.

PROCEDIMIENTO.-

La prueba de pérdida de filtrado a alta presión y alta - temperatura se efectúa a una temperatura de 300°F y una presión - diferencial de 500 psi.

Equipo.-

Camisa de Calentamiento.

Cámara para la muestra, construída para soportar presio - nes de trabajo de 1000 psi (área de filtración de 3.5 pulgadas - cuadradas) Termómetro (lecturas hasta 500°F).

Regulador para conjunto superior con la habilidad para -

regular 1000 psi desde cualquier fuente de presión.

Cámara presurizada receptora del conjunto inferior diseñada para soportar contrapresiones de trabajo de por lo menos 500 - psi.

Probeta graduada para recibir el filtrado.

Procedimiento.-

Conectar la camisa de calentamiento al voltaje correcto para la unidad. Conectar el termómetro en el receptáculo correspondiente en el exterior de la camisa.

Calentar la camisa a 10°F por encima de la temperatura de prueba la muestra de lodo durante diez minutos y vaciarla a la cámara asegurándose que la válvula inferior esté cerrada. La cámara no debe llenarse en exceso de 1/2 pulgada de la pestaña en el borde superior.

Colocar un papel filtro (Whatman No. 50 ó equivalente) sobre la pestaña.

Asentar la tapa de la cámara apropiadamente y asegurar los tornillos Allen. Tener cuidado que ambas cámaras estén cerradas y luego colocar la cámara en la camisa de calentamiento.

Colocar la unidad de presión sobre la válvula superior y asegurarla. Colocar la unidad receptora de baja presión sobre la válvula inferior y asegurarla.

Aplicar 100 psi a ambas unidades de presión y abrir la válvula superior 1/4 de vuelta en la dirección contraria a las manecillas del reloj.

Alcanzar la temperatura de prueba, aumentar la presión de la unidad superior a 600 psi y abrir la válvula inferior 1/4 vuelta para comenzar la filtración. El filtrado debe recolectarse en una probeta graduada por un período de 30 minutos.

Después de 30 minutos se recoge el filtrado y se espera - que la cámara se enfríe para agotar la presión cuidadosamente y - desarmar la cámara para observar enjarre formado sobre el papel - filtro.

Se reporta el filtrado como mililitros durante 30 minutos de prueba.

Sólidos, aceite y agua.-

Para analizar el contenido de sólidos, aceite y agua en los lodos de emulsión inversa se emplea una retorta de destilación. Un pequeño volumen de lodo se coloca en la retorta y se calienta. La fracción líquida del lodo se evapora, se enfría y, una vez condensada, se recoge en una probeta graduada. Los volúmenes de agua y de petróleo se leen directamente en la probeta y el volumen restante es el contenido total de sólidos.

La relación aceite-agua es la que existe entre los porcentajes de aceite y del agua con respecto a la fase líquida de la emulsión y se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ FASE ACEITE} = \frac{100 L_d}{L_d + L_a}$$

$$\% \text{ FASE AGUA} = \frac{100 L_a}{L_d + L_a}$$

en donde: L_d = Lectura del Aceite
 L_a = Lectura del Agua

ESTABILIDAD ELECTRICA.-

La conductividad de una emulsión depende de la fase continua de la emulsión. Como en nuestro caso la fase continua es aceite, no es capaz de conducir la corriente eléctrica.

Para la estabilidad eléctrica se usa el probador de emulsiones Fann, el cual consiste de una fuente de corriente variable AC o corriente directa DC en unidades portátiles, conectadas a electrodos de bandas. El voltaje impuesto a través de los electrodos puede ser incrementado hasta cuando fluya una cantidad pre determinada de corriente. El flujo de corriente indica la medida de ruptura de la emulsión. La estabilidad relativa de una emulsión agua en petróleo se indica como el voltaje al punto de ruptura.

Esta prueba no necesariamente indica que un lodo base aceite está en buenas condiciones, pero es bastante usada para observar los cambios en la estabilidad relativa del lodo.

CONCENTRACION DE SAL.-

Para la determinación de la salinidad se emplea el siguiente método:

- 1).- Con una jeringa se toma 1 cc de muestra de lodo.
- 2).- Se agregan a una mezcla (1:1) de alcohol isopropílico y agua.
- 3).- Se agita para romper la emulsión y se deja reposar durante 5 minutos.
- 4).- Se toma una muestra de 1 cc de la fase líquida, agregándole unas gotas de Fenolftaleína, si da coloración rosa, se neutraliza con ácido sulfúrico 0.02 N

hasta decoloración de la muestra.

- 5).- Inmediatamente después se le agrega indicador de cromato de potasio y se titula con Nitrato de plata 0.028 N hasta una coloración rojo ladrillo.

Método para determinar salinidades en un sistema de emulsión inversa.

CLORURO DE SODIO.

Objetivo:

Cuantificar lo mejor y más rápidamente posible las concentraciones de electrolitos empleados en la fase acuosa de los lodos de emulsión inversa.

Reactivos necesarios:

Alcohol isopropílico.

Nitrato de plata 0.028 N.

Indicador cromato de potasio.

Solución indicadora de fenolftaleína.

Solución de ácido sulfúrico 0.02 N.

Procedimiento:

- 1.- Determinar la fracción % en volúmen de agua del lodo en la retorta.
- 2.- Tomar un centímetro cúbico de lodo y agitar.
- 3.- Agregar 5 centímetros cúbicos de alcohol isopropílico (agitar).
- 4.- Agregar 5 centímetros cúbicos de agua destilada (agitar).
- 5.- Tomar 1 centímetro cúbico de la muestra y agregar una pequeña cantidad de agua destilada.

Checar con fenolftaleína (4 gotas), si se observa coloración rosa (por alcalinidad), neutralizar con solución de ácido-sulfúrico 0.02 N.

6.- Agregar 4 gotas de cromato de potasio y titular con solución de nitrato de plata hasta conservar coloración rojo ladrillo y anotar el volúmen (de nitrato de plata) gastado.

Cálculos.

a.- Usar la fórmula siguiente para obtener mg/lit de cloruro de sodio:

$$\text{mg/lit de NaCl} = \frac{V \times 100 (10 + F) 1.65}{F}$$

donde:

V = Volúmen de nitrato de plata gastado en cm^3 .

F = Volúmen en cm^3 , del agua presente en la retorta.

b.- Si se utiliza la gráfica No.1-A se obtiene el resultado en mg/lit a ppm de cloruro de sodio.

c.- Con la gráfica No.2-A se obtiene la conversión de mg/lit a ppm de cloruro de sodio.

CLORURO DE CALCIO.

Reactivos necesarios:

Alcohol isopropílico.

Nitrato de plata 0.028 N.

Indicador de cromato de potasio.

Procedimiento:

- 1.- Determinar la fracción % en volúmen de agua del lodo en la retorta y anotarla.
- 2.- Tomar un centímetro cúbico de lodo y agitar.
- 3.- Agregar 10 centímetros cúbicos de alcohol isopropílico.
- 4.- Tomar un centímetro cúbico de la muestra y agregar una pequeña cantidad de agua destilada.
- 5.- Agregar 4 gotas de indicador cromato de potasio y titular con solución de nitrato de plata 0.028 N hasta observar coloración rojo ladrillo y anotar el volúmen de nitrato de plata gastados.

Cálculos:

- a.- Usar la fórmula siguiente para obtener mg/lit de cloruro de calcio:

$$\text{mg/lit de cloruro de calcio} = \frac{V \times 1000 (10 + f)}{f} \cdot 1.56$$

donde:

- V = volúmen en centímetros cúbicos de nitrato de plata gastados.
- f = volúmen en centímetros cúbicos del agua presente en la retorta.
- b.- Si se utiliza la gráfica No.3-A se obtiene el resultado en mg de cloruro de calcio x 100
- c.- Con la gráfica No.4-A se obtiene la conversión de mg/lit a ppm de cloruro de calcio.

TRATAMIENTO Y CONTROL DE LOS LODOS DURANTE LOS PROBLEMAS ENCONTRADOS EN LA PERFORACION.

Durante la perforación de los pozos petroleros se presenta una serie de problemas que están directamente relacionados con los lodos. Los programas que se tienen para estos se modifican de acuerdo al tipo de problemas que se tienen, buscándose controlar sus propiedades para su mejor funcionamiento.

Actualmente se perforan en este distrito tres pozos de exploración en los que se utilizan lodo de emulsión inversa tomándose se como base de estudio para la elaboración del presente tema de tesis al pozo Salsomera No. 1, Equipo PM.4024, debido a la serie de problemas que se han presentado durante su perforación.

La columna geológica probablemente es la siguiente:

COLUMNA ESTRATIGRAFICA.	PROFUNDIDAD m.	TIPO DE LODO	DENSIDAD	VISCOSIDAD	FILTRADO	%MAXIMO -- ARENA	PH	% ACEL TE	% AGUA
Reciente - Aflora	250	CLS	1-10	50	10	1.0	9.0	-	
Augoceno-50 m	600	E.I.	120	80	-	-	-		
Sal 220 m	2500	E.I.	150	80	-	-	-		
Jurásico-triásico 5200 m	5200	E.I	180	90	-	-	-		
Profundidad Total 7000 m	7000	CLSE	140	60	0.5	9.5			
Condiciones del lodo al cementar			T.R.						
T.R. 16"	600	E.I	1.20	50	-	-	-		
10 3/4	2500	E.I	1.45	80	-	-	-		
	5200	E.I.	1.70	90	-	-	-		
	7000	CLSE	1.40	60	6.0	0.5	9.5		

Este programa podrá modificarse durante la perforación - si las condiciones del pozo lo requieren:

OBSERVACIONES.

Se iniciará con lodo bentonítico y CLSE. Se cambiará por emulsión inversa al contacto con la sal, se recomienda mantener - trabajando los desarenadores y eliminador de sólido, se recomienda lavar la presa de asentamiento después de cementadas las T.R. - de 16 y 10 3/4", las densidades programadas para perforar la sal - podrán modificarse de acuerdo con el registro de temperatura.

COMENTARIOS.- El principal problema presentado en la perforación - de este pozo fué la formación salina que se tuvo que atravesar. - La penetración de domos salinos es una ocurrencia bastante común, se encuentran ciertos problemas cuando se perforan a través de - formaciones de sal pero no son particularmente difíciles de resol - ver, sin embargo, cuando se perforan formaciones salinas profun - das como es nuestro caso, se introducen efectos serios por la seú - doplasticidad de la sal causada por altas temperaturas y las pre - siones de sobrecarga extremadamente altas. Su plasticidad puede - hacer difícil mantener el agujero calibrado y una vez que la sal - es penetrada, se requieren altas densidades del lodo para contro - lar su entrada al agujero.

Las presiones y la temperatura necesarias para iniciar - la transformación plástica de la sal son relativamente bajas; a través de su comportamiento seudo plástico, la sal transmite tanta presión como un líquido, de esta manera las presiones encontra - das al perforar a través de la sal, varían con la temperatura y a profundidades extremas las presiones pueden ser significativas.

Una mayor consideración cuando se penetra una capa de do - mo salino o una sección de sal, es la gran probabilidad de que -

las formaciones de presión anormal se encuentren abajo; si se encuentran flúidos comprometidos dentro de la formación porosa, estos son atrapados por la depositación de sal impermeable arriba, la presión de yacimiento de los flúidos abajo de esta depositación de sal será probablemente igual a la presión de sobrecarga de la roca. Las deformaciones porosas pueden ser compactadas bajo estas condiciones y así mismo retendrán también su constitución original, independientemente de la edad.

El pozo Salsomera No. 1, inició a perforarse con lodo bentónico con las siguientes propiedades:

FECHA	16
PROF. (m)	30
DENS.	1.05
VISC.	70

Cemento tubo conductor.

FECHA	16	17	18	19	20	21	22	Unidades mes de abril de 1982.
PROF. (m)	30	51	111	154	178	217	231	m
DENS.	1.05	1.10	1.06	1.10	1.10	1.19	1.20	2/cc
VISC.	70	70	70	60	60	55	60	Viscosidad Marsh segundos.
%ARENA			0.5	0.5	0.5	1.0	0.1	
FILT.			12	12	12	11	14	ml.
ENS.			1	1	1	1.5	2.0	mm
GEL.			4/12	4/16	4/12	10/26	10/30	lb/100 ft ²
Cl ⁻ ppm			3200	4800	5800	7800	23,000	ppm
PH			8	8	8	9	11	
CALCIO			-	-	-	-	40	ppm
ALCALIN.			-	-	-	-	1.2	
SOLIDOS			10	10	10	-	14	%
% AGUA			90	90	90	-	83	%
% ACEITE			-	-	-	-	3	%
VA			35	35	35	20	45	cp
VP			30	30	30	16	35	cp
YP			10	10	10	8	20	lb/100 ft ²

Cemento tubo conductor
 se perfora a 66 tn y se saca la tubería
 para anexar un estabilizador.

1.- La cima del domo salino se tocó a la profundidad de 217 m. donde las propiedades del fluido de perforación aumentaron la viscosidad y gelatinosidad se hicieron difíciles de controlar por lo que se cambió el lodo bentonítico por lodo cromolignosulfonato emulsionado-salado.

2.- Con el lodo cromolignosulfonato emulsionado-salado se perforó a la profundidad de 573 m donde se introdujo la tubería de revestimiento (TR) de 16" pulgadas.

Este tipo de lodo está constituido por dispersantes orgánicos como lo son el lignex (compuesto lignítico cáustico) y el supercaltex (lignosulfonato de cromo), los cuales proveen un excelente control de la reología del lodo, así como estabilidad de las paredes del pozo. El dispersante actuó también como agente efectivo de control de filtrado debido al efecto-taponante de las sales crómicas y la máxima dispersión que se logra. Para el mejor funcionamiento de tales dispersantes se utilizó sosa cáustica para mantener el Ph entre 11 y 12 ya que éste es abatido por la concentración de sal.

3.- Como podemos observar de la tabla siguiente la concentración de calcio va en aumento llegando a alcanzar 600 ppm motivo por el cual se utilizó soda ash para eliminarlo del sistema ya que la presencia de aquel limita el uso de los dispersantes.

4.- En este tipo de lodo se utilizó atapulguita en lugar de la bentonita, ya que las propiedades de viscosidad y filtración de ésta son poco eficientes en aguas con alto contenido de sal. Como las partículas de bentonita, las partículas de atapul

ABRIL - MAYO

FECHA	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1o.
PROF.	231	250	266	289	311	331	362	394	420	446
DENSIDAD	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
VISCOSIDAD	60	100	60	70	60	60	60	60	60	60
% ARENA	0.1	0.5	1.0	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
FILT.	14	16	18	18	18	18	18	18	18	18
ENS.	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
GEL.	10-30	12-34	8-18	8-18	8-18	8-18	8-16	8-18	4-14	4-16
CLORUROS	23,000	61,000	85,000	92,000	146,000	150,00	154000	154000	165000	16500
PH	11.0	12.0	12.0	12.0	12.0	10	12.0	12.0	12.0	12.0
CALCIO	40	40	40	40	40	60	340	340	380	400
ALCALINIDAD	1.2	1.4	1.4	1.5	1.4	1.2	0.5	0.5	0.5	0.5
SOLIDOS	14	17	13	18	18	18	18	18	18	18
AGUA	83	80	84	74	74	74	74	74	74	74
ACEITE	3	3	3	8	8	8	8	8	8	8
VA	45	37	33	33	33	30	34	35	35	35
VP	35	26	26	26	26	25	26	30	28	28
YP	20	22	14	14	14	10	16	10	14	14

pulguita son muy pequeñas y el área superficial de dichas partículas dispersadas es muy grande.

A diferencia de la bentonita las partículas de atapulguita se asemejan a agujas, más que placas, la propiedad de dar viscosidad de la atapulguita depende de lo enredado de estas partículas, más que de lo ordenado en su orientación de la bentonita. La desorganización de las mallas de estas partículas de atapulguita también explica las pobres propiedades de filtración de las suspensiones, la forma ó estructuras de agujas de las partículas de atapulguita no es favorable para la formación de enjarres delgados e impermeables.*

5.- Se adicionó diesel comenzando con una concentración del 3% hasta alcanzar el 10% en volúmen. El acéite se agregó al lodo para proveerlo de ciertas propiedades benéficas como reducción de la torsión en la tubería, aumento en el avance de perforación aumento en la vida de la barrena, reducción de embolamiento en la barrena, provención de pegaduras por presión diferencial, mejora el enjarre y aumenta su lubridad.

6.- Después de comentada la T.R. de 16 pulgadas se procedió a cambiar el lodo de CLSE salado por lodo de emulsión inversa IMCO con las siguientes propiedades:

JUNIO - JULIO 1982

FECHA	27	28	3	4	5	6	7	8	9	10
PROF.	573	573	573	592	608	633	673	709	730	750
DENS.		1.20	1.32	1.35	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
VISC.		49	55	60	60	60	65	65	65	75
FILT.		2.6	3.0	3.5	3.5	2.5	3.0	3.5	2.5	2.5
GEL.		3-5	7-14	8-15	8-15	5-14	7-15	8-17	8-18	8-18
CLORUROS		200,000	365,000	362,000	362,000	360000	340000	346000	320000	320000
ALC.										
SOLIDOS		18	24	18	18	18	17	17	20	20
AGUA		22	22	24	24	23	24	22	22	22
ACEITE		60	54	58	59	59	69	61	58	58
VA		30	36	30	30	29.5	35	31.5	33	33
VP		28	30	25	25	27	31	27	29	29
YP		4	12	10	10	5	8	9	-8	8
R.A.A.		72/28	71/29	70/30	70/30	72/28	71/29	73/27	72/28	72/28
EMULSION					400	400	350	350	360	360

Se prepararon 80 m³ de lodo de emulsión inversa IMCO en las presas del equipo, según la formulación del fabricante, acondicionándolo durante tres días mediante la adición de reactivos y material de peso (barita) hasta alcanzar las características antes mencionadas.

El cambio a este tipo de lodo obedeció a que la sal en concentraciones de 180,000 ppm afectó las características del lodo CLSE salado, siendo difícil mantenerlo dentro de los rangos adecuados de propiedades reológicas aumentando éstas, así como también el filtrado y los riesgos de pegadura de la tubería.

El lodo de emulsión inversa solucionó estos problemas ya que su fase externa es aceite el cual no permite la solución de ninguna de las sales comunmente encontradas. El cloruro de calcio y el cloruro de magnesio si se disuelven en el agua emulsificada pero no ejercen ningún efecto adverso sobre las propiedades del lodo; generalmente ninguna de las sales solubles actúan como contaminantes en los lodos base aceite.

Usando este tipo de lodo, el agujero de sal masiva se mantuvo bien calibrado, ya que la sal no se disuelve en estos como en los de base agua. La fase interna de los lodos base aceite (agua) puede saturarse con una sal dada antes de penetrar una sección de sal ó puede saturarse durante la perforación por lo que casi la mayoría de los lodos base aceite que contienen agua emulsionada como fase interna, no disuelven la sal; por tanto no se agrandan los agujeros.

Se continuó perforando en forma normal, apareciendo intercalaciones de lutita, yeso, almagre, carnalita, continuando el tratamiento de lodo con cloruro de calcio obteniéndose una sali -

nidad máxima de 390,000 ppm hasta el 17 de diciembre de 1983, no pudiéndose mantener la salinidad por tener poca cantidad de cloruro de calcio por problemas de adquisición, continuando la perforación hasta el 26 de diciembre, fecha en que se agotó el cloruro de calcio.

El análisis del lodo hasta este día fué el siguiente:

Densidad	1.50 g/cm ³
Viscosidad	92 segundos
Filtrado	3.5 ml
Gel	5-39
Sólidos	27%
Agua	14%
Aceite	59%
Va	49 cps
Vp	45 cps
Yp	8.0 lb/100 pies ²
Relación	81/19
Aceite-Agua	
Emulsión	650 volts.

Se comenzó a utilizar cloruro de sodio en lugar de cloruro de calcio lo que ocasionó que disminuyera gradualmente la salinidad de la fase acuosa del lodo hasta 290,000 ppm (17 de enero - del 83) siendo la profundidad del pozo de 2807 m.

Al sacar la tubería de perforación para cambio de barrena se observó fricción a 2807 m por lo cual se bajó al fondo para trabajar la sarta, se sacó y se metió para estabilizar al agujero tensionado hasta 15 toneladas sobre su peso por atrapamiento

de la sarta, logrando liberarla. Se sacó a la superficie y con barrera nueva se volvió a meter encontrándose resistencia a 27'3 m. se repasó tubo por tubo desalojando abundantemente recorte (de -
rumba de lutita hidratada), teniendo en este momento el lodo una salinidad de 274,000 ppm. Se continuó perforando hasta la 2821 m. continuando el derrumbe y saliendo el recorte hidratado.

Observaciones.- A partir de 2700 m., predominan la lutita color gris verdoso suave. El recorte se recuperaba pequeño, seco y firme; saliendo después más grande, hidratado y suave por lo -
que se suspendió de perforación para acondicionar el lodo en la -
zapata con salmuera de cloruro de calcio hasta alcanzar una salinidad de 380,000 ppm.

Comentarios sobre el problema.- La causa de los derrumbes fue debida al hecho de que las propiedades de algunas rocas arcillosas son alteradas por adsorción de agua. Las rocas montmoriloníticas tienden a expandirse cuando son puestas en contacto con -
agua de menor salinidad que la que se encuentra atrapada en la -
misma. La expansión es causada por adsorción de agua ó de iones -
en la superficie de las arcillas cargadas eléctricamente. Se supone que a escala molecular, las moléculas de agua quedan dispues -
tas sobre arcillas de tal manera que son capturadas y pasan a ser parte de las mismas. Cuando la arcilla esta seca, se encuentra -
formada por capas que están muy unidas, la adsorción de agua produce un flujo de la misma, lo que ocasiona que las capas se separen induciendo esfuerzos expansivos internos, la hidrotación reduce la compactación, la densidad y altera su resistencia eléctricoca.

Por algún tiempo se consideró que el agua de la fase dispersa de los lodos de emulsión inversa era inerte, pero se descubrió que esta agua debidamente emulsionada tiene movimiento migratorio debido a la presión osmótica. Estas observaciones demostraron que la hidratación y la deshidratación de la arcilla depende de la concentración del electrolito presente, tanto en el fluido de perforación como en la arcilla. La deshidratación y subsecuente endurecimiento de la lutita ocurre sólo cuando la concentración salina de la fase acuosa del fluido de perforación de emulsión inversa, es mayor que la del agua de la lutita. Por el contrario, cuando el agua de la lutita tiene mayor contenido de sales de la fase acuosa del lodo de perforación absorbe agua de éste y se desintegra, incorporándose al fluido y creando problemas en las propiedades de la emulsión.

Hasta hace pocos años las propiedades de los fluidos de emulsión inversa fueron establecidas en forma arbitraria, pero por estudios de laboratorio, pruebas piloto y utilizando núcleos de la formación problema, se ha demostrado la necesidad de determinar la salinidad adecuada para perforar dichas formaciones.

Cuando la lutita es expuesta a la acción de un fluido de perforación de emulsión inversa, se eleva la fuerza osmótica de hidratación, cuando existen diferencia entre la salinidad del agua de formación y de la fase acuosa del fluido. Esto, trae como consecuencia que se produzcan fuerzas de hidratación o deshidratación, dependiendo de la concentración salina de la fase acuosa del fluido de perforación. Los fluidos de perforación de emulsión inversa son casos especiales porque su fase acuosa emulsificada está separada del contacto directo con la formación por una membrana semipermeable proporcionada por la interfase aceite-agua.

En estas condiciones se determinó la salinidad de las lutitas en el pozo por un método de análisis resultando de 300,000-ppm, por lo que se procedió a acondicionar el lodo con cloruro de calcio, evitándose la saturación porque con una pequeña evaporación del agua se tendrá por resultado una condición de sobresaturación, que hará que los cristales de sal libre pasan a formar parte y crear una condición severa de mojadura por agua de los sólidos desestabilizando la emulsión. Se circuló el fluido de perforación y se siguió acondicionando con cloruro de calcio y diesel para mantener la relación aceite-agua, además se añadió barita (sulfato de bario) para aumentar la densidad al lodo ya que se comenzó a manifestar una gasificación quedando el lodo en las siguientes características antes de seguir perforando:

Fecha	7/11/83.
Profundidad	2821 m.
Densidad	1.52 g/cc
Viscosidad	90 seg.
Filtrado	4.8 ml.
Gel.	7-38 Lbs/100 pies ² .
Cloruros	360,000 ppm
Sólidos	28%
Aceite	57%
Agua	15%
Relación AC/AG	74-21
Va	57 cps
Vp	50 cps
Yp	14 Lbs/100 pies ² .
Emulsión	600 Volts.

Se continuó perforando normalmente hasta los 2874 m. en donde se observó aumento de nivel de las presas (fluyendo pozo - 30 lt/min), el cual se controló aumentando la densidad al lodo -- a 1.57 g/cc.

Análisis del lodo antes y después del Flujo.

Densidad	1.52	1.57	g/cm ³
Viscosidad	95	120	segundos
Filtrado	4.0	3.0	ml
Gel	7.39	9-40	lb/100 ft ²
Salinidad	360,000	360,000	ppm
Sólidos	27	31	%
Agua	15	17	%
Aceite	58	52	%
Relación Ac/Ag	79/21	75/25	
Va	55	72	cps
Vp	50	64	cps
Yp	10	16	lb/100 ft ²
Emulsión	800	740	volts.

Se continuó perforando normalmente hasta la profundidad - de 3001 m en donde disminuyó la velocidad de penetración (70'-35' 15'-7'), se circuló sin manifestarse el flujo por lo que se con - tinuó perforando hasta alcanzar los 3006 m notándose un aumento - en el nivel de las presas. Se sacó la barrena a 2990 m., circulan - do y aumentando la densidad del lodo a 1.78 g/cm cúbicos comenzan - do a precipitar la barita.

Se continuó aumentando la densidad del lodo hasta 1.85 - g/cm³ saliendo el lodo con la barita húmeda separada, tratándose - de acondicionarlo sin éxito y eliminándose la barita por el vibra

dor.

Comentarios.- Como se ha visto anteriormente los lodos de emulsión inversa son resistentes a las contaminaciones con sal y a las altas temperaturas. Las sales comunmente encontradas en perforación (Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+) exhiben características de mojadura por el agua, dichos sólidos no son deseables en un lodo de emulsión inversa. De esta manera, ya que todos los sólidos contenidos en un lodo base aceite deben ser mojados por aceite, las características de mojadura por agua de sales particularmente tienden a afectar la concentración de agentes mojantes de aceite en el lodo.

Ciertas sales causarán una mojadura por agua de la barita. Así mismo en un lodo base aceite, la mojadura de los sólidos por el agua tiende a cubrir la superficie metálica de la tubería de perforación y los lastraberrenas en los puntos donde se presenta una alta velocidad del lodo. En un estado avanzado, este recubrimiento puede taponear la sarta, en cada caso se hará necesaria una acción correctiva inmediata con un agente mojante de aceite.

La sal afecta también la química de la emulsión del lodo, cualquier desviación de un sistema de lodo de sus propiedades debe investigarse. Cualquier cambio en el aspecto de la textura del lodo indicará la presencia de sólidos mojados por agua (el lodo salía con un aspecto grumoso); una vez que el lodo alcanza esta condición, habrán aparecido problemas de mojaduras bastante severos y la suspensión de la barita será difícil. Este problema es detectado por observación de la norma establecida en las propiedades reológicas, estabilidad eléctrica ó en las características de filtración.

Solución del problema.- Para la solución del problema se efectuaron pruebas de laboratorio de recubrimiento, desarrolladas, sobre muestras de lodo, dando como resultado una película opaca indicadora de un problema severo de mojadura por sólidos, por lo que se concluye que el lodo necesitaba agente mojante.

Además de estas pruebas se hicieron otras con la adición del dispersil a la muestra de lodo, el cual es un agente tensoactivo y es el emulsificante principal del sistema desarrollado, por el IMP, es también un agente humectante de los sólidos perforados y del material densificante (barita). Se presenta como un líquido de color café, con densidad de 1.03 g/cc.

Otras pruebas se hicieron con Kenol/S, Ken-Cal y aumentando la relación aceite-agua.

El lodo de emulsión inversa IMCO se desplazó por el sistema (Drilex-Protexil) enviado de la planta de lodo de Reforma Chiapas y tratado en el pozo, solucionándose así el problema de asentamiento de la barita, notándose un aumento de la viscosidad por el lodo IMCO contaminado que se desplazó, llegando a la profundidad perforada con densidad de 1.99 g/cc.

Este cambio de sistema de lodos se debió a los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, ya que el lodo IMCO a densidades mayores de 1.76 g/cc separa la barita, no sucediendo esto con el sistema DRILEX-PROTEXIL.

Muestra del lodo después del tratamiento.

Densidad	1.99
Viscosidad	70

Filtrado	1.0
Gel	9-18
Salinidad	520,000
Sólidos	30
Agua	14
Aceite	56
R.A.A.	80/20
Va	56
Vp	46
Yp	20
Emulsión	520

Actualmente este pozo se perfora una profundidad de 5085 m siendo la programada de 7 000 m con lodo de las siguientes características:

Densidad	1.60 g/cm ³
Viscosidad	93 seg.
Filtrado	4 ml
Gel	9.40 lg/100 ft ²
Salinidad	340,000 ppm
sólidos	29 %
Agua	13%
Aceite	58%
Relación aceite agua	82.18
Va	70 cps
Vp	66 cps
Yp	17 cps
Emulsión	800 volts.

CAPITULO IV

COSTOS.

Una base para analizar los costos individuales de los lodos de perforación es fijar estos en relación al volúmen. Si los costos de los lodos son examinados en base a costo por metro cúbico, todos los factores individuales que pueden afectar los costos pueden ser diferenciados claramente, las especificaciones para las propiedades del lodo pueden ser más consideradas en relación a los costos por tratamiento químico, y los costos de los lodos pueden ser evaluados en relación a los costos totales de perforación.

Los costos totales de los lodos pueden ser divididos en tres partes:

- a) Costo del volúmen final del lodo (C_v)
- b) Costo de mantenimiento (C_m)
- c) Costos misceláneos (C_s)

El costo del volúmen final del lodo representa el valor del lodo en el sistema circulante a cualquier profundidad designada, y es equivalente al volúmen del sistema por el costo unitario por metro cúbico de lodo. El costo unitario es el costo por metro cúbico de tratamiento químico para ajustar las propiedades del lodo base (no tratado) a las propiedades del lodo final. Por lo tanto:

$$C_v = C_u (V_h + V_p)$$

donde:

C_v = Costo del volúmen final del lodo.

C_u = Costo unitario del lodo por metro cúbico.

v_H = Volúmen final en el agujero en metros cúbicos.
 v_P = Volúmen en las presas en m^3 .

El costo de mantenimiento es el costo de los reactivos químicos requeridos para mantener las propiedades del sistema de lodo dentro de las especificaciones. El costo de mantenimiento de los reactivos químicos es representado por el valor del lodo desechado a las presas de reserva, por las pérdidas del lodo, por desperdicio normal en la superficie y las pérdidas de lodo por filtración combinada por la formación del enjarre en el agujero.

El costo de mantenimiento está relacionado directamente con la cantidad de agua ó diesel según el tipo de lodo, necesarios para mantener ciertas propiedades. Además esta relación nos proporciona un medio conveniente para estimar la velocidad de las adiciones de reactivo a un sistema de lodo durante la rutina de perforación.

Las proporciones de tratamiento químico pueden ser determinadas por pruebas de piloto. Si es necesario, pueden ser fácilmente convertidas en kg de reactivo por metro cúbico de agua ó de aceite según la base del lodo, añadido por hora, turno ó día. Bajo operaciones normales, el costo de mantenimiento representa el componente de costo más simple.

El costo de mantenimiento puede ser expreado como sigue:

$$C_m = DCuT \quad \text{ó} \quad D = \frac{C_m}{CuT}$$

C_m = Costo de mantenimiento.

D = Lodo nuevo hecho por la adición de agua ó aceite según la base del lodo en metros cúbicos por día.

Cu = Costo unitario del lodo.

T = Tiempo en días.

Es obvio que dependiendo del costo unitario del tipo de lodo involucrado, la mayor adición del agua ó aceite (dilución) aumenta el costo de mantenimiento del lodo.

El equipo de control de sólidos separa los sólidos que no sólo reducen la velocidad de penetración, sino que reducen la velocidad de dilución.

El lodo nuevo D, puede ser también expresado como un porcentaje del promedio diario del volúmen de lodo a través del intervalo de perforación

$$F = \frac{2D}{V_1 + V_2} 100$$

donde:

F = D expresado como % del volúmen promedio del sistema de lodo en el intervalo perforado.

V₁ = Volúmen en el agujero y en las presas a la profundidad 1.

V₂ = Volúmen en el agujero y en las presas a la profundidad 2.

El costo misceláneo está definido como el valor del costo especial de lodo además del volúmen final del lodo y costo de mantenimiento. La separación de los costos misceláneos no sólo identifica estos aditivos, sino que simplifica el análisis del componente del costo de mantenimiento.

Los costos de los artículos misceláneos típicos son: materiales para pérdida de circulación, productos químicos usados en la precipitación de sales solubles de la formación ó de cemento.

Análisis de costos del pozo Salsomera No. 1, equipo de -- Pémex 4024.

Durante la perforación de este pozo se utilizaron tres sistemas diferentes de lodo de perforación.

Primera etapa, lodo bentonítico de 0 a 111 m.

Segunda etapa, lodo CLSE salado de 111 a 573 m.

Tercera etapa, lodo de emulsión inversa de 573 m hasta la profundidad actual que es de 5085 m.

Costos durante la primera etapa.

Material utilizado agua-bentonita

Cálculo del volúmen utilizado.

Profundidad 111 m.

Longitud de los drill collar 81 m.

Diámetro de los drill collar 9 1/2 x 3 pulgadas.

Diámetro de la barrena 22 pulgadas.

Diámetro de la tubería de perforación 5 x 4.276 pulgadas.

Volúmen interior de la tubería de perforación 0.50667

Para llevar a cabo el balance, se hizo un análisis de mercado referido a los precios usuales de los productos usados.

Material	Empaque	Precio por tonelada.
Bentonita	sacos de 50 kg.	3,200.00

<u>MATERIAL</u>	<u>CANTIDAD</u>	<u>TONELADAS</u>	<u>PRECIO</u>
Bentonita	400 sacos	20	20x3200 = \$54,000

$$\text{COSTO POR METRO} = \frac{64\ 000}{111} = \$576.576$$

b).- CLSE salado

<u>MATERIAL</u>	<u>EMPAQUE</u>	<u>PRECIO POR TONELADA</u>	<u>\$</u>
Barita	sacos de 50 kg.	8,000	
Pirofosfato	sacos de 50 kg.	16,000	
Lignex	sacos de 25 kg.	10,200	
S. Caltex	sacos de 25 kg.	16,500	
Sosa cáustica	tambores de 50 kg.	12,600	
Atapulguita	sacos de 50 kg.	33,600	

<u>MATERIAL</u>	<u>CANTIDAD UTILIZADA</u>	<u>TONELADAS</u>	<u>COSTO \$</u>
Barita	4310 sacos	215.5	172,400
Bentonita	300 sacos	15.0	48,000
Pirofosfato	40 sacos	2.0	106,000
Lignex	560 sacos	14.0	1,845,340
S. Caltex	790 sacos	19.75	2,419,375
S. Cáustica	208 tambores	10.4	131,040
Atapulguita	1400 sacos	70.0	2,352,000

$$\text{COSTO TOTAL} = \$ 7,074,155$$

$$\text{COSTO POR METRO} = \frac{7,074,155}{573} = \$12,345.82$$

c).- LODO DE EMULSION INVERSA.- Los costos del material utilizado en este sistema se toman a partir de la fecha en que se comenzó a perforar con este lodo hasta el 31 de diciembre de ---

1983

150

<u>MATERIAL</u>	<u>CANTIDAD UTILIZADA</u>	<u>TONELADAS</u>	<u>COSTO \$</u>
Barita	94025	4701.260	37,610.000.00
Drilex		3.200 m ³	3,45,000.00
Drilex	988.5 sacos	49.425	3,113,775.00
Cloruro de sodio	520 sacos	26.000	109,200.00
Cloruro de calcio	264 sacos	13.233	291,126.00
Salmuera de cloruro de calcio	211.230	211.280	1,383,984.00
Diesel m ³	1004.00	1004.000	1,104.400.00
Kenol-S m ³	121.400	121.400	37,858,590.00
Imco VR		49.531	4,772,807.10
Ken-Gel		3.178	920.094.00
Ken-Cal		4.400	1,704,340.00
Kenox		129.987	1,819,318.00
Dispersil		22.600	5,772.040.00
Universil		1.125	56,981.25

COSTO TOTAL \$ 100,019,055.91

COSTO POR METRO = $\frac{100,019.055}{4447 \text{ m}}$ = 22,491.35

Profundidad del pozo = 4447 m

SUMA DE LOS COSTOS DE CADA ETAPA:

Lodo bentonítico 64,000.00

CLSE salado 7,074,155.00

Lodo de emulsión in

versa

100,019,055.91

\$107,157,210.91

CONCLUSIONES

A medida que se han hecho intentos para perforar pozos más profundos y más peligrosos para mejorar la explotación de las formaciones productivas, se ha esperado que el lodo de perforación ejecute más funciones. Para ejecutar esas funciones satisfactoriamente la composición del lodo se ha vuelto más variada y las propiedades han llegado a ser más susceptibles de controlar. El costo de mantener lodo de perforación efectivo, es ahora necesariamente una partida principal en el gasto total de la perforación.

La composición y las propiedades del lodo de perforación son de la incumbencia de todos los miembros de la cuadrilla, porque afecta su seguridad y su empleo.

Solo se puede determinar definitivamente que también satisface los requerimientos que se le han asignado por su comportamiento en el agujero ya que estos deben perforarse a través de un gran número de formaciones de tipos diferentes, por lo que varios cambios en el fluido de perforación serán necesarios para ajustarlo a las diversas condiciones que se encuentren.

El éxito de cualquier operación de perforación, depende directamente del fluido de perforación. En pozos profundos y costosos, todas las propiedades físicas del lodo se revisan a intervalos frecuentes y también los ionesssolubles. La ingeniería de lodos es la conexión meditada de las propiedades del lodo con la manera que se comporta y desempeña sus diversas funciones bajo las condiciones encontradas en el pozo.

Si el lodo falla en alguna función esencial, la composición se puede alterar para lograr el cambio necesario en las propiedades, siempre que se conozca la relación entre la función, la composición y las propiedades.

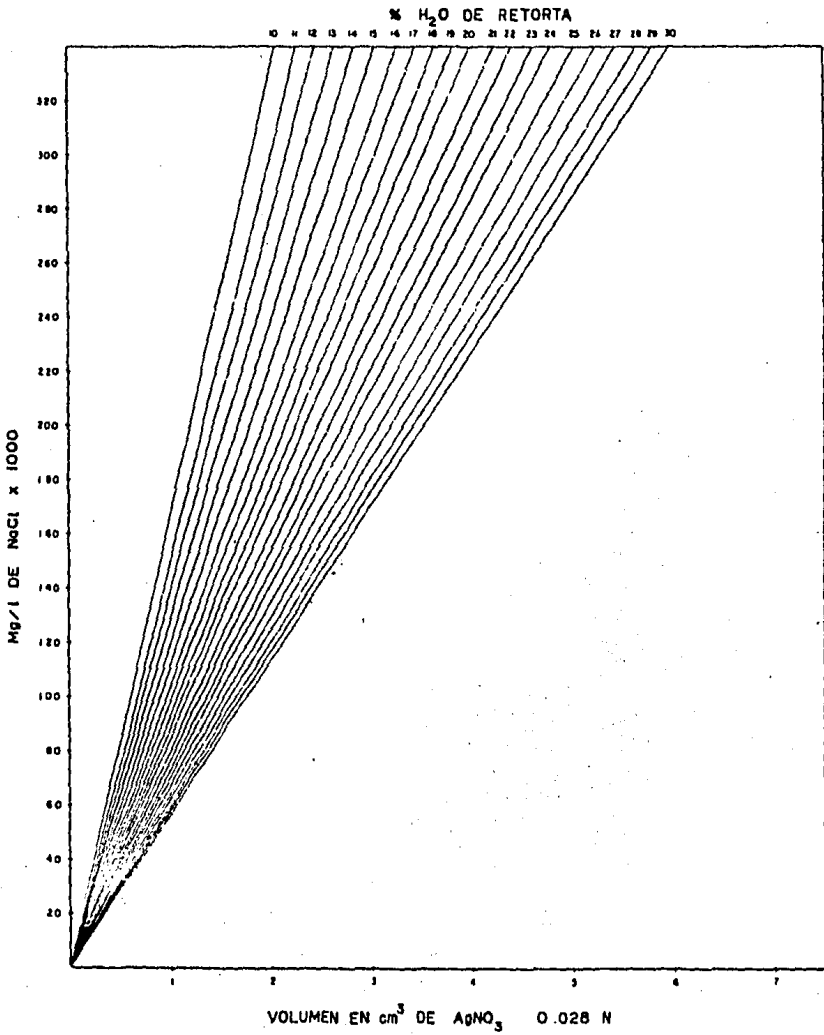
El uso de los lodos de emulsión inversa se ha hecho muy importantes en zonas donde existe una contaminación muy marcada y en pozos profundos en donde la temperatura de fondo es muy elevada desplazando a los de base agua ya que estos presentan muchos problemas en tales situaciones.

Los sistemas usados en la perforación de los pozos petroleros del Plan, Ver., son el Drillex y el sistema Halliburton ya que además de desempeñar bien sus funciones ofrecen la ventaja de que los productos para su formulación pueden ser obtenidos sin problemas.

Quizá la ventaja más grande e importante la tenga el sistema Drillex ya que es de manufactura nacional.

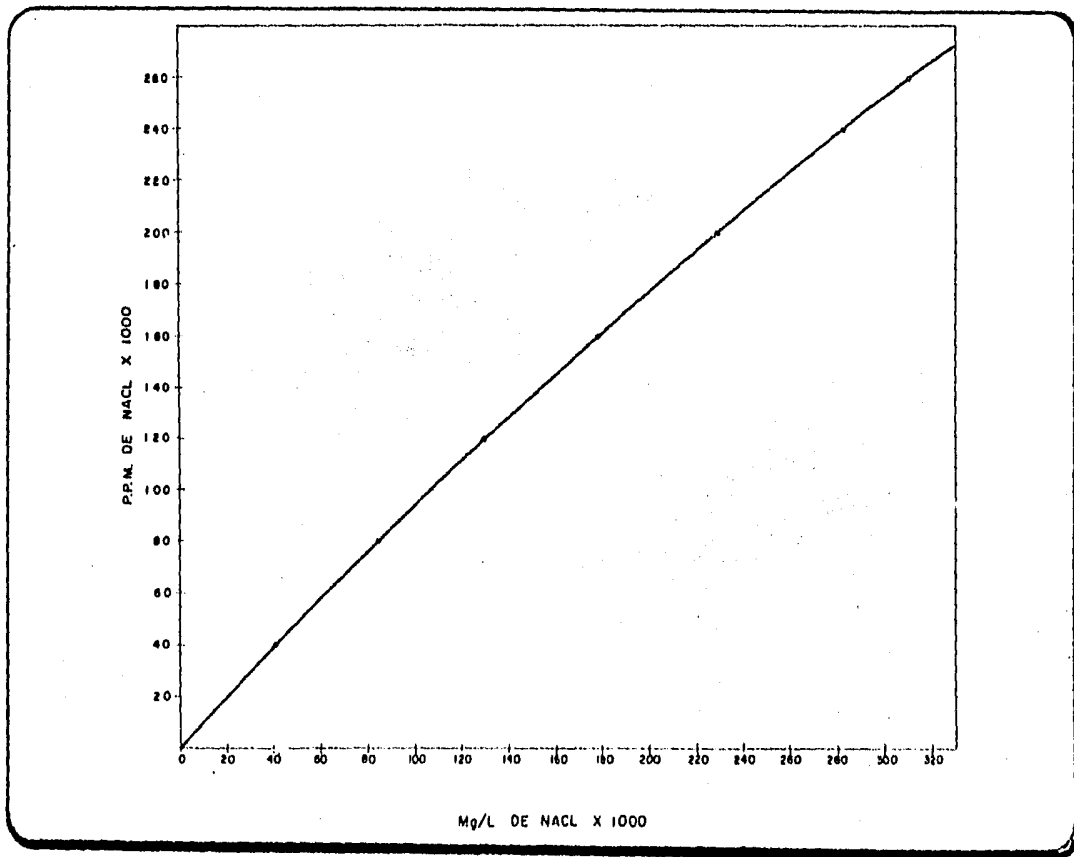
Si bien, los costos en cuanto a su preparación y mantenimiento son mayores en relación a otro tipo de lodo, resultan más eficientes, y evitan los problemas de detener la operación de perforación por causa de contaminación, tuberías pegadas, para perforar formaciones sensibles al agua, operaciones de reparación y para perforar secciones de anhídrita y de sal, además de que se pueden obtener densidades mayores que en los lodos de base agua.

GRAFICA 1-4

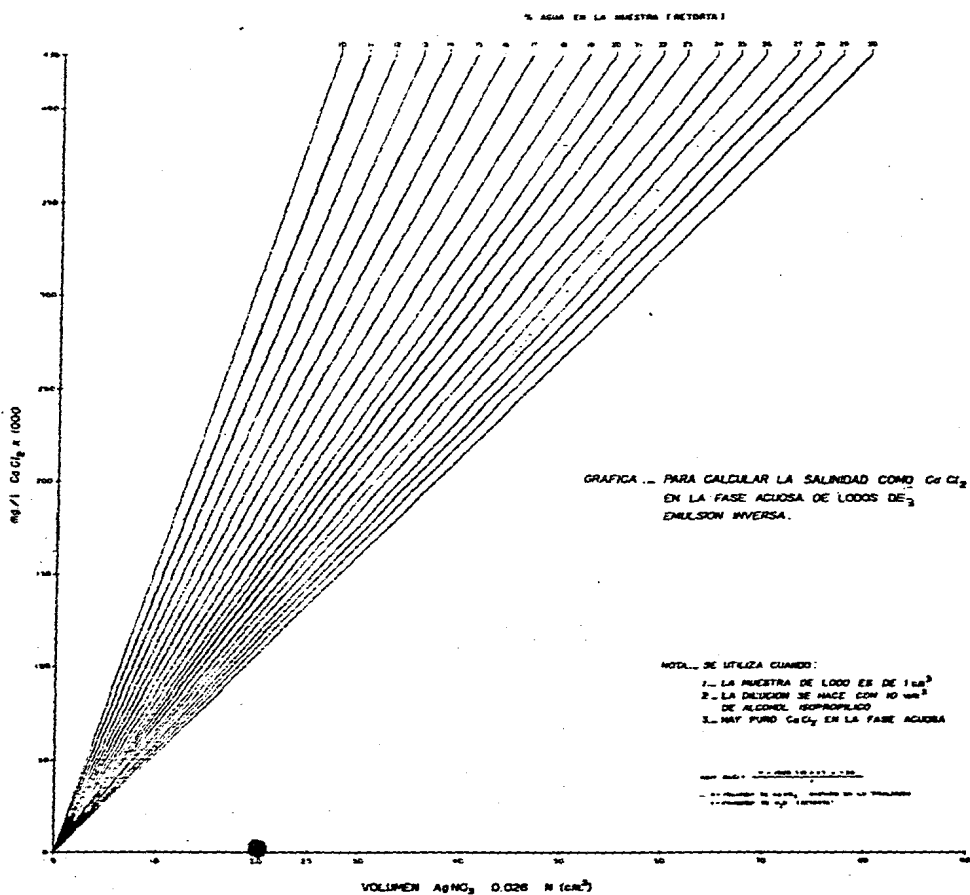


GRAFICA 2-4

MILIGRAMOS/LITRO CONTRA P.P.M. DE SOLUCIONES DE NACL A 25°C.

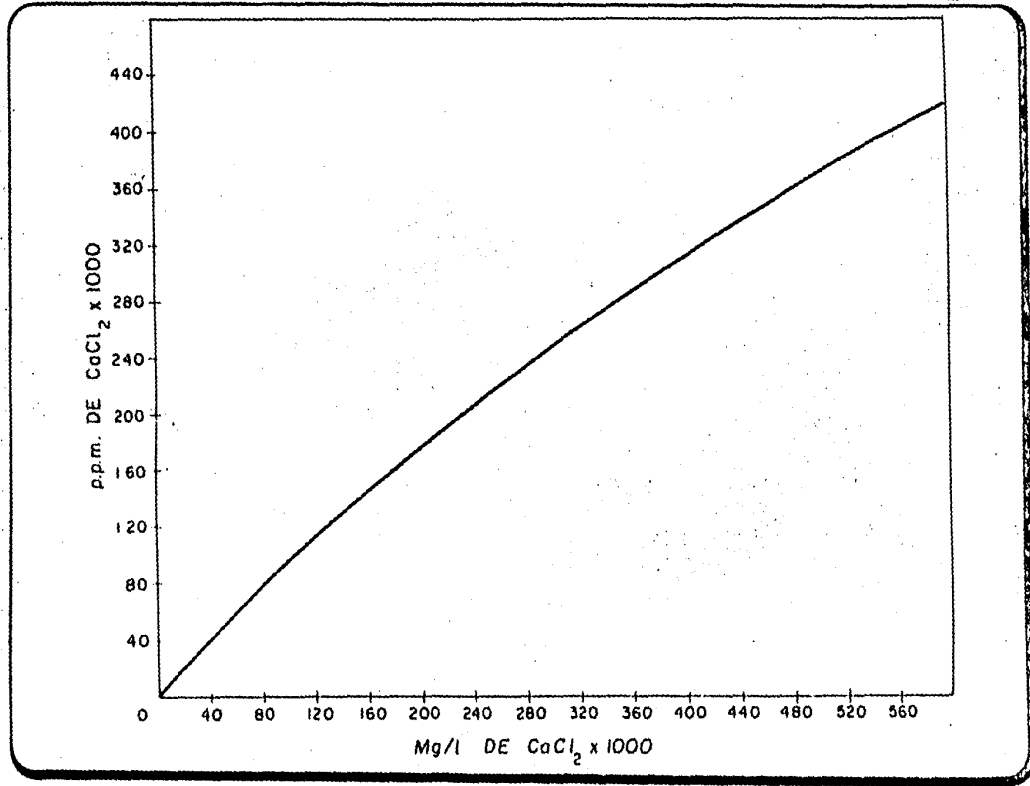


GRAFICA 3-A



GRAFICA 4-A

EQUIVALENCIA ENTRE p.p.m. y Mg/l. DE LAS SOLUCIONES DE CaCl_2 @ 20°c



MATERIALES REQUERIDOS PARA PREPARAR BBL DE SOLUCION DE
CLORURO DE SODIO A 60°F.

DENSIDAD (ppg)	CLORURO DE SODIO (lb/bbl final)	AGUA DULCE (gal/bbl final)
8.33	0	42
8.6	16	41.2
8.8	28	40.5
9.0	41	40.0
9.2	54	39.5
9.4	68	39.0
9.6	82	38.5
9.8	95	38.0
10	110	37.5

Basados en una pureza de 100%.

TABLA 5-A

TABLA 5-A

MATERIALES REQUERIDOS PARA PREPARAR BBL DE SOLUCION DE
CLORURO DE CALCIO A 60°F.

DENSIDAD (ppg)	CLORURO DE CALCIO (lb/bbl final)	AGUA DULCE (gal/bbl final)
9.0	37	41.0
9.2	48	40.5
9.4	60	40.0
9.6	72	39.7
9.8	83	39.3
10.0	95	39.0
10.2	107	38.5
10.4	118	38.0
10.6	132	37.5
10.8	143	37.0
11.0	157	36.5
11.2	170	36.0
11.4	183	35.5
11.6	197	35.0
11.8	210	34.0

Basados en 95% de cloruro de calcio.

TABLA 6-A

PROPIEDADES FISICAS DE LAS SOLUCIONES DE CLORURO DE SODIO

(datos a 60° F)

% de cloruro de sodio por peso	peso especifico	Densidad ppg	mg/l ^o de cloruro de sodio	mg/l ^o de cloruros	Punto de congelación	Presión Hidrostática psi / 100 ft
1.0	1.007	8.40	10.070	6.110	31.0	43.68
2.0	1.014	8.46	20.280	12.300	30.0	43.99
3.0	1.021	8.52	30.630	18.580	28.9	44.30
4.0	1.029	8.59	41.160	24.970	27.8	44.67
5.0	1.036	8.65	51.800	31.420	26.7	44.98
6.0	1.043	8.70	65.580	37.060	25.5	45.24
7.0	1.051	8.77	73.570	44.630	24.2	45.60
8.0	1.059	8.84	84.720	51.390	22.9	45.97
9.0	1.067	8.90	99.030	58.250	21.6	46.28
10.0	1.074	8.96	107.400	65.150	20.2	46.59
11.0	1.082	9.03	119.030	72.200	18.8	46.96
12.0	1.089	9.09	130.680	79.270	17.3	47.27
13.0	1.097	9.15	142.610	86.510	15.7	47.58
14.0	1.104	9.21	154.560	93.760	14.1	47.89
15.0	1.112	9.28	166.800	101.180	12.4	48.26
16.0	1.119	9.34	179.040	108.610	10.6	48.57
17.0	1.127	9.41	191.590	116.220	8.7	48.93
18.0	1.135	9.47	204.300	123.930	6.7	49.24
19.0	1.143	9.54	217.170	131.740	4.6	49.61
20.0	1.151	9.61	230.200	139.640	2.4	49.97
21.0	1.159	9.67	243.390	147.650	0.0	50.28
22.0	1.168	9.75	256.900	155.880	-2.5	50.70
23.0	1.176	9.81	270.480	164.080	-5.2	51.01
24.0	1.184	9.88	284.160	172.380	-1.4	51.38
25.0	1.193	9.96	298.250	180.920	-13.3	51.79
26.0	1.201	10.02	312.260	189.420	-27.9	52.10

TABLE 11-7

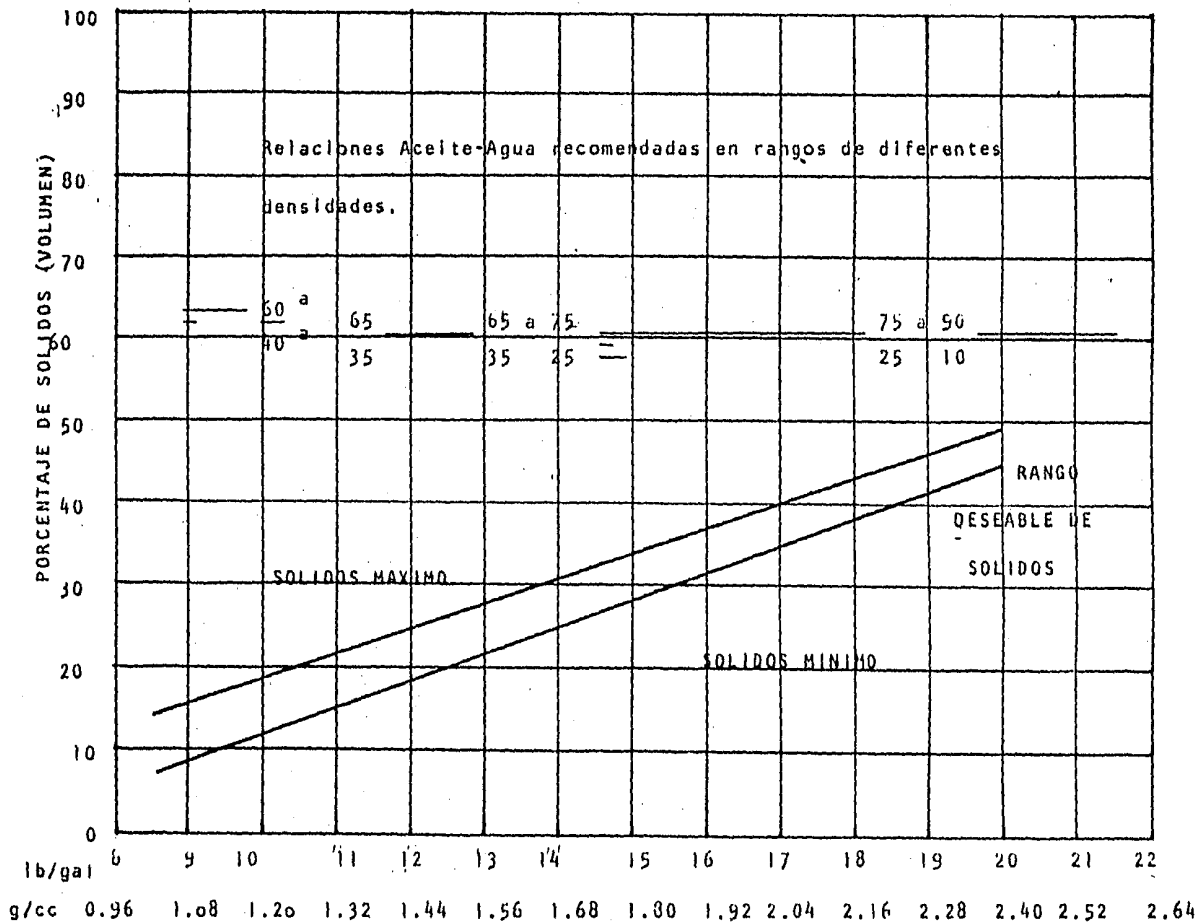
TABLA 7-A

• Miligramos por litro pueden convertirse a partes por millón (ppm), dividiendo mg/l por el peso especifico.

La relación entre mg/l de cloruro de sodio y mg/l de cloruros es la siguiente:

$$\text{mg/l de cloruro de sodio} = \text{mg/l de cloruros} \times 1.649$$

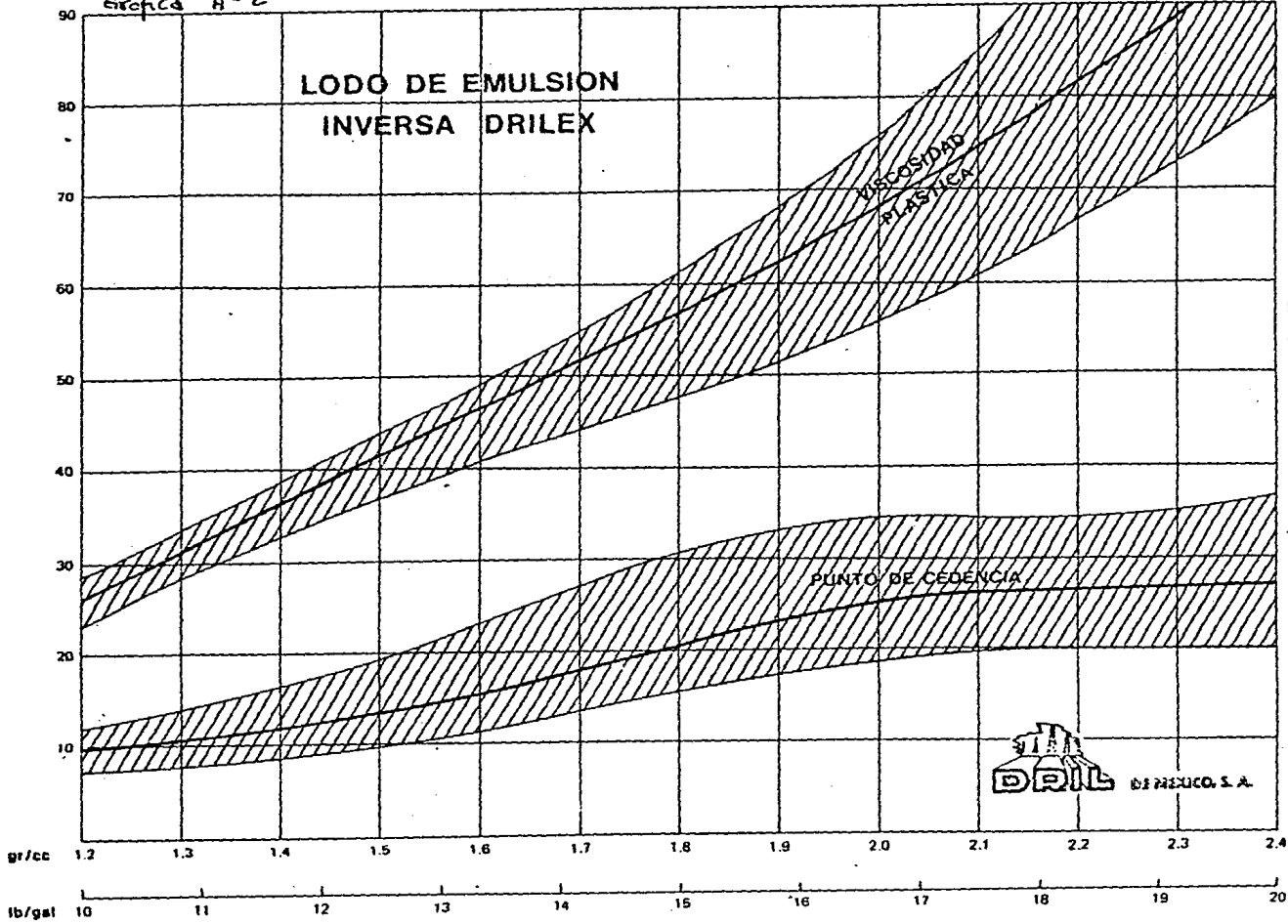
$$\text{mg/l de cloruros} = \text{mg/l de cloruros de sodio} \times 0.06066$$



Gráfica A-f.- Límites de variación de los valores de relación aceite-agua y % de sólidos (en volumen) a diferentes densidades en lodos de emulsión inversa.

Gráfica A-2

LODO DE EMULSION INVERSA DRILEX



VISCOSIDAD PLASTICA C. P. S.
PUNTO DE CEDENCIA lb/100 pie²



Manual Drillex.

Area de exploración

Dril de México S.A.

Fluidos de perforación.

Manual IMCO.

Manual de tecnología de lodos.

Subdirección de capacitación, 1981.

Proyecto de método para evaluar la calidad de las emulsiones
inversas.

IHP.

Solids control seminar.

Magco-bar.

Protexa Industrias.

Información Técnica.

Industrial Chemistry of colloidal and amorphous material.

Lewis, Squires, Broughton.

Mc. Millan.

Introducción a la química de superficies y coloides.

D.J. Shaw.

Editorial Alhambra S.A.