

Foja 40



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería



**FLUIDOS DE PERFORACION UTILIZADOS
EN LA SONDA DE CAMPECHE.**

T E S I S

Que para obtener el título de:
INGENIERO PETROLERO

P r e s e n t a :

JORGE ZARATE MARTINEZ



México, D. F.

1987



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

T A B L A D E C O N T E N I D O

INTRODUCCION	pág 2
CAPITULO I FUNCIONES Y PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION	pág 5
CAPITULO II CLASIFICACION DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION UTILIZADOS EN LA SONDA DE CAMPECHE	pág 19
CAPITULO III PRUEBAS Y RESULTADOS OBTENIDOS EN EL CAMPO	pág 39
CAPITULO IV HIDRAULICA DE PERFORACION ROTARIA	pág 70
CONCLUSIONES	
BIBLIOGRAFIA	

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

Las investigaciones de mayor importancia sobre los lodos de perforación datan del año 1914, siendo realizadas por Heggen y Pallard en Oklahoma, afirmaban que en algunas ocasiones se llegó a utilizar en los equipos de pulseta (Equipo de Perforación) un fluido que aportaba ciertas características, tanto de viscosidad como de densidad, con la finalidad de evitar derrumbes y brotes imprevistos, derivándose por primera vez la definición de fluido: "Es una mezcla de agua con cualquier arcilla, la cual queda suspendida en su fase acuosa por cierto tiempo".

En 1921, Stroud recomienda que se le debe agregar al fluido un material químico inerte (sulfato de bario) para aumentar el efecto de la presión hidrostática ejercida en el fondo del agujero y evitar derrumbes y brotes imprevistos.

En 1929, se descubren las arcillas comerciales (bentonitas) para mejorar la viscosidad y suspensión del fluido con el propósito de mejorar el acarreo de los recortes perforados y suspender el material de mayor densidad. Así mismo se conocieron los dispersantes alcalinos.

En 1930, se inicia la investigación para resolver el problema de las lutitas deleznales, mediante el uso de lodos a base de silicatos de sodio.

En 1931, Marsh empezó a desarrollar los aparatos para veri-

ficar las propiedades del lodo. Empezó por introducir el embudo para viscosidades que lleva su nombre, así mismo se dá a conocer en este año el viscosímetro Stormer y el Gelómetro, y con esto, se considera que comenzó a desarrollarse en grande la técnica de los lodos.

En 1937, surge el filtro prensa para determinar la pérdida de agua y el enjarre de los lodos, demostrando ser de gran trascendencia en los programas de perforación y así es como se definieron casi todas las técnicas de laboratorio y aparatos utilizados actualmente.

La velocidad, eficiencia, seguridad y costo de la perforación dependen del comportamiento del fluido de perforación usado.

Por la necesidad creciente en el uso industrial y comercial de los hidrocarburos, se han desarrollado técnicas para perforar pozos más profundos, siendo, el fluido de perforación el que "controla" al pozo, su composición se ha vuelto más variada y compleja para mantener los rangos de operación a que será sometido, traducidos a efectos de velocidad de penetración, se obtiene una disminución en los costos de perforación.

En México se tiene una plataforma continental de 460,000 kilómetros cuadrados denominada golfo de Campeche, donde Petróleos Mexicanos tiene en ejecución el proyecto más importante de toda su historia.

En base a la evaluación geológica de las áreas estudiadas - se seleccionó una zona de 8,000 kilómetros cuadrados en base a métodos sísmológicos, se detectaron 60 estructuras con probabilidades de almacenar hidrocarburos, el primer pozo exploratorio fue el Chac No. 1, perforado a la profundidad de 4935 m., en el año de 1974, situado a 8.25 km., al N. 11° 25'W. de Ciudad del Carmen, el pozo se terminó en agosto de 1975 como productor de aceite y gas, al resultar positivas las pruebas de producción - efectuadas en sedimentos carbonatados del paleoceno, (intervalo 3545 a 3567).

La información obtenida de la perforación de éste pozo y -- los perforados posteriormente; Nohoch 1 y Akal 1, permitió afinar la configuración de un importante yacimiento denominado - - "COMPLEJO CANTARELL" el cual tiene un espesor máximo de 900 mts. de roca impregnada de hidrocarburos.

Al continuarse el desarrollo de este complejo productor de hidrocarburos, las condiciones de los fluidos de perforación -- han tenido que superarse para evitar los problemas originados, tanto por las diversas formaciones que se atraviesan como por - el tipo de trabajo (perforación marina).

I. FUNCIONES Y PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION

Al inicio de la perforación rotaria las funciones de los fluidos utilizados fueron básicamente acarrear los cortes producidos por la barrena hasta la superficie, encontrándose en esa época las formaciones productoras a profundidades someras; en la actualidad las formaciones productoras se encuentran a profundidades que pasan de los 5,000 m., como consecuencia de esto, la función primaria de los fluidos exige que sean los adecuados para las formaciones que se atraviesan durante la perforación y mantenerlo en condiciones óptimas para lograr el objetivo de perforar el pozo sin problema de derrumbes, pegaduras, pérdidas, gasificación, etc.

FUNCIONES IMPORTANTES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION

1. Limpiar de recortes el fondo del agujero y acarrearlos a la superficie.

Para conseguir una limpieza efectiva y un acarreo de recortes seguro, deben tomarse en cuenta las siguientes condiciones en el fluido:

- a). Velocidad anular del fluido.

Por influencia de la gravedad, los recortes tienden a caer a través del fluido ascendente, pero al circular el fluido con la velocidad apropiada se nulifica este efecto. La velocidad anular promedio se calcula con la siguiente fórmula:

$$V_a = \frac{\text{Profundidad (m)}}{T_c = T_{11} T_p}$$

Donde:

V_a = Velocidad anular promedio (m/min.)

T_c = Tiempo del ciclo (min.)

$T_{11} T_p$ = Tiempo de llenado de la T_p (min.)

- b). Densidad. La densidad produce un efecto de flotación sobre las partículas, aumentando la densidad del fluido, se incrementa la capacidad de acarreo.
- c). Viscosidad. La viscosidad tiene gran significación en el transporte de los cortes, este depende de la concentración, calidad y dispersión de los sólidos suspendidos.
- d). Tamaño de los cortes.
2. Enfriar y lubricar la barrena y tubería de perforación. El calor generado por fricción en la barrena y tubería de perforación, al contacto con la formación, es disipado por el fluido al circular y salir éste a la superficie, logrando a la vez mayor duración a la tubería y barrena. Se cuenta con reductores de fricción los cuales se pueden agregar a los fluidos, cuando se trabaja a elevadas revoluciones.
3. Formar un enjarre impermeable que cubra las paredes del agujero.

Un fluido debe producir un buen enjarre, que sea capaz de - proteger las formaciones y que retarde o disminuya el flujo de los fluidos a través de ella. En base a la constitución del fluido, (agua + arcilla) la primera de ellas es la parte filtrante y la segunda es la que formará el enjarre. De tal forma que esta propiedad se mantendrá en equilibrio - cuando la arcilla retenida en la formación, sea sustituida - por arcilla de la misma calidad.

4. Controlar las presiones de los yacimientos.

Durante la perforación se encuentran formaciones con presiones anormales y normales, siendo el fluido el único elemento que controla dichas presiones. El efecto de control es - por medio de la densidad del fluido, de tal forma que si esta densidad se incrementa, aumentará el valor de la presión hidrostática ejercida por la columna del fluido. A continuación se especifica la fórmula para obtener la cantidad de - material de alta densidad necesario.

$$P_b = \frac{V_i (D_f - D_i)}{1 - \frac{D_f}{D_b}}$$

Donde:

P_b = Peso del material densificante por agregar (barita).

V_i = Volumen inicial del fluido

D_f = Densidad final

D_i = Densidad inicial

D_b = Densidad del material densificante

5. Mantener en suspensión los cortes y el material denso cuando se interrumpe la circulación.

El fluido de perforación conocido en el campo como lodo de perforación, debe tener la propiedad de acarrear los cortes durante la perforación y soportarlos durante el tiempo que esté suspendida la misma, para lograr esto se vale de la -- propiedad conocida como tixotropia, que nos indica que un -- fluido en movimientos es líquido y en reposo tiende a solidificarse. Los fluidos de perforación tienen esa propiedad y se clasifican como fluidos plásticos de Bingham.

6. Eliminar la arena y los cortes en la superficie.

Los cortes una vez en la superficie se deben de eliminar fácilmente bien sea mecánica o físicamente, la arena al pasar por una sistema de desarenadores es eliminada y los cortes, a través de mallas vibratorias.

Las arcillas naturales requieren de una determinada cantidad de material químico para poder trabajar sin alterar las propiedades del lodo, lo que eleva el costo de mantenimiento de los fluidos de perforación.

7. Efecto de flotación de la sarta y T.R.

Al aumentar las profundidades de perforación, el peso soportado por el equipo de superficie va aumentando considerablemente. Debido a que la tubería está sumergida en el fluido, ésta sufre un empuje de abajo hacia arriba igual al peso -- del fluido desplazado, un aumento en la densidad del fluido,

aumentará el empuje y reducirá el peso total soportado por el equipo. Se debe tener un conocimiento de las estructuras geológicas que se van a perforar, para evitar pérdidas de fluido y pegaduras de tubería por presión diferencial.

8. Permitir la obtención de información de la zona perforada (toma de registros).

Los fluidos de perforación se modificaron con el propósito de mejorar el aspecto de evaluación de la formación. Con mejores viscosidades se tienen mejores recortes; con menos filtración, se minimiza la invasión del fluido a la formación y con fluidos especiales para mejorar las características de los registros.

Los fluidos base aceite dificultan la evaluación de los horizontes, posibles productores y los fluidos a base agua salada limitan el uso del registro de potencial espontáneo para reconocer zonas permeables. La formación del enjarre limita la obtención de la información de los núcleos obtenidos mientras que la invasión de agua o aceite afectan la resistividad, esto no es un indicio de las condiciones del agujero; por lo tanto es necesario seleccionar el fluido y su tratamiento en el área en particular.

COMPOSICION Y QUIMICA DE LOS LODOS DE PERFORACION

No existen dos lodos iguales; aún en el caso de que los lodos sean inicialmente semejantes, los efectos diversos de los elementos y de la formación y el manejo que se haga de los lo-

dos en la superficie introducirán diferencias.

A pesar de ello es posible establecer amplias clasificaciones de los lodos.

La Fig. 1 muestra un esquema de clasificación.

El lodo apropiado para un pozo es aquel que es más económico en la perspectiva total de seguridad, costo de perforación y eventualmente costos de producción. Un bajo costo inicial del lodo puede a la larga resultar más costoso si da resultados problemas posteriores en la perforación o en la producción, el término fluido incluye a los líquidos y a los gases. Un fluido de perforación es fundamentalmente líquido, y lo denominaremos lodo de perforación o simplemente lodo. El aire, el gas y la espuma son fluidos neumáticos de perforación.

La parte líquida de un lodo es generalmente agua, aceite o una mezcla estable de ambos. Una emulsión es un sistema disperso en la que un líquido está suspendido dentro de otro en forma de glóbulos muy pequeños. El líquido suspendido (en suspensión) es la fase interna de la emulsión; el líquido dentro de la cual esa fase interna está suspendida recibe el nombre de fase externa o fase continua.

Un lodo de base aceite se caracteriza porque su fase líquida o continua es el aceite o más frecuentemente, una emulsión de agua en aceite (llamada emulsión inversa), si la porción líquida continua es el agua se trata de una emulsión de aceite en agua y en este caso se considera un lodo base agua.

Los lodos de base agua son los más usados, varían desde los

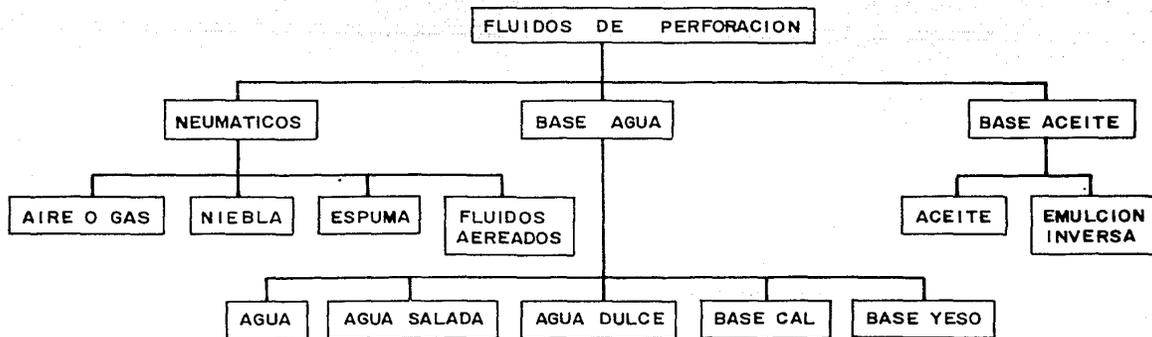


Fig. 1

lodos nativos (no tratados) pasando por los ligeramente tratados, hasta los lodos inhibidores base agua.

Los lodos inhibidores reducen o inhiben la interacción entre el lodo y ciertas formaciones perforadas. Los lodos de base aceite son de por sí inhibidores.

La variedad del tipo de lodos dificulta cualquier discusión de orden general sobre su composición.

Para modificar las características de los lodos se emplean muchos aditivos; agentes densificantes (tales como barita, carbonato de calcio y sales solubles) los que aumentan la densidad de los lodos, ayudando con ellos a sostener las paredes del pozo. Las arcillas, viscosificantes, polímeros, y agentes emulsionantes líquidos hacen que los lodos se espesen y con ello aumenten su capacidad para transportar y suspender los recortes y -- los materiales sólidos densificantes. Por otro lado se pueden -- utilizar dispersantes para que los lodos se hagan más fluidos -- reduciendo de esa manera los efectos de presión en el pozo, -- ejemplo: presiones de succión, de pistón y los problemas de excesiva presión de circulación. Se emplea así también arcillas, polímeros, almidones y materiales alfélticos para reducir la -- filtración de la fase líquida del lodo a través de la pared del pozo.

Otros aditivos de lodo incluyen lubricantes, inhibidores de corrosión, sustancias químicas que ligan a los iones de calcio contaminantes impidiendo sus efectos, floculantes, que ayudan -- en la remoción de recortes para que sean trasladados a la superficie.

ESTUDIO Y CONTROL DE LAS PERDIDAS DE CIRCULACION

La pérdida de circulación es la pérdida de lodo hacia las formaciones expuestas en el pozo.

El flujo del lodo hacia la formación implica que hay menos lodo volviendo a la línea de descarga que el que se bombeó o -- bien que no hay retorno. Esta reducción de flujo en el espacio anular debido a la pérdida, ocasiona diversos problemas, los re cortes se pueden acumular en la zona de baja velocidad y caer -- al fondo cuando se detiene el bombeo llegando a originar un -- atrapamiento de tubería, también produce una reducción de la -- presión hidrostática, se hace inferior a la presión de formación cuando la formación es permeable, presentándose la situación de pérdida de circulación en un pozo con surgencia, caso que se -- presenta muy frecuentemente en el área Cantarell al llegar a la brecha productora.

CAUSAS DE LA PERDIDA DE CIRCULACION

Para que se pierda lodo hacia la formación se necesitan dos factores:

1. Los orificios en la formación deben ser tres veces más gran de que la mayor de las partículas existentes en el lodo.
2. La presión debida al lodo debe ser superior a la presión de la formación. Las formaciones que típicamente se caracterizan por tener orificios suficientemente grandes como para --

permitir pérdida de circulación son:

- a) Formaciones no consolidadas o sumamente permeables.
- b) Fracturas naturales.
- c) Zonas cavernosas o con cavidades.
- d) Fracturas inducidas.

Las formaciones no consolidadas varían en su permeabilidad. Sobre la base de lo que ocurre con el lodo ordinario, los estudios demuestran que una permeabilidad muy grande es necesaria para que una formación tome lodo. Esta permeabilidad puede hallarse en algunos estratos superiores de arena y de grava, encontrando tendencias similares en capas coralíferas.

Las fallas, grietas y fisuras se producen en cualquier formación como resultado de las tensiones naturales de la tierra, las formaciones más jóvenes de las áreas marinas no toman lodo a menos que las presiones en el pozo sean suficientemente altas como para hacer que esas fracturas naturales se extiendan, esto sucede debido a que están llenas con fluido de los procesos de compactación, sin embargo en las rocas más antiguas del continente medio la ausencia de este fluido aumenta posibilidad de pérdida de circulación.

La presión de lodo debe exceder a la presión de la formación en todas las perforaciones para evitar los desprendimientos de lutita y evitar que los fluidos de la formación entren al pozo. Si se aplica suficiente presión sobre una formación expuesta, llegará a romperse o agrietarse y tomar lodo, esta presión puede abrir nuevas fracturas o extender fracturas natura-

les. Si la presión total es mayor que la presión de fractura de la formación se producirá una fractura inducida.

CONTROL DE LAS PRESIONES

La presión hidrostática es la requerida por mantener en su lugar los fluidos de perforación y dar sosten y apoyo a las paredes del pozo. La condición ideal es mantener la presión hidrostática casi igual a la presión de formación, ejerciendo un efecto positivo, sobre la velocidad de penetración y evitar el apriamiento diferencial de la sarta.

La acción normal del lodo circulante crea una presión en el pozo, superior a la presión hidrostática, esta presión es el resultado de pérdidas por fricción debidas a las propiedades -- del lodo y la geometría del espacio a través del cual fluye. Esta pérdida de presión ocurre en el espacio anular, dado que el flujo es del fondo hacia la superficie, la presión debida a la fricción es mayor en el fondo que en la parte superior del pozo lo que originará que esta presión, más la presión hidrostática aporte una densidad equivalente del lodo, que representada matemáticamente sea mayor que la densidad de fractura de la formación. El nombre abreviado para esta densidad equivalente de circulación es ECD siendo la presión total que experimentan las paredes del pozo en un punto específico. La ECD también se ve aumentada por altas viscosidades y elevado valor del punto de cendencia, por la disminución del espacio anular y por los altos gastos de circulación.

Cuando se retira la sarta hay un efecto de succión, tanto por arrastre o por fricción a lo largo de la tubería, como por el efecto de pistón de la barrena y los lastra barrena. Este -- efecto de succión disminuye efectivamente la presión en el fondo del pozo y puede ocasionar la entrada del fluido de la formación.

El movimiento de la sarta o herramientas dentro del pozo -- eleva la presión en el fondo, cuanto más rápido es este movimiento mayor es la sobrepresión. A mayor cantidad de tubería -- dentro del pozo aumentan los valores de caídas de presión. Esto implica que cuanto más profunda está la barrena, más lenta debe ser su introducción. Estas sobrepresiones son también aumentadas considerablemente por las propiedades deficientes del lodo.

RESUMEN DE LA PREVENCION SOBRE EL CONTROL DE PRESIONES

1. Reducir las presiones mecánicas.

- a). Mantener la densidad mínima del lodo para controlar -- presiones en el fondo del pozo.

Con esto se logra velocidades máximas de penetración y presiones mínimas de circulación.

- b). Mantener la viscosidad y las resistencias del gel a ni -- veles mínimos. El mínimo requerido servirá de soporte al material densificante y a los recortes.

Esta viscosidad mínima reduce las presiones de circulación, las presiones impelentes de succión y las sobrepresiones necesarias para romper la circulación.

- c). Mantener presiones de bomba capaces de remover los recortes y conservar buenas propiedades de flujo de lodo en el anular.

Con esto se reduce las presiones de circulación y evita ensanchamiento de pozo.

- d). Mantener lentos los movimientos de tubería especialmente cuando se esta bombeando. La intensidad de la sobre presión causada depende de: las propiedades del lodo, de la presión de bombeo, del diámetro y profundidad del pozo, del equipo en el fondo del pozo, y del número de protectores de la sarta. La tubería de revestimiento - deberá bajarse lentamente debido al escaso espacio anular.

- e). Romper circulación, varias veces antes de llegar al -- fondo siempre que sea posible, con esto se romperán -- los geles gradualmente durante la bajada.

- f). Efectuar una prueba de admisión o de integridad de presión después de perforar de tres a seis metros por debajo de cada zapata de revestimiento con esto se logra verificar la cementación y la formación adyacente para encontrar el gradiente de fractura. Esta prueba se debe efectuar cada vez que se penetre una arena u otra - zona débil.

- g). Tomar medidas correctivas contra el embolamiento de la barrena y del desprendimiento de lutitas, ya que estas podrían bloquear completamente el espacio anular, e im

poner presiones de bomba sobre la formación.

2. Seleccionar los puntos de revestimiento en formaciones consolidadas y que acepten la densidad del programa.
 - a). La elección preliminar de los puntos debe derivarse de la información proveniente de pozos vecinos.
 - b). La selección final debe venir de cambios en las variables del pozo mientras está penetrando la zona de transición.
3. Tratar previamente el lodo con materiales contra pérdida de circulación.
4. Colocar taponamientos directos a las zonas de pérdida mediante materiales hidratables.
5. Cambiar radicalmente los sistemas de fluidos ya sea utilizando fluido base agua o fluido base aceite.

II. CLASIFICACION DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION UTILIZADOS
EN LA SONDA DE CAMPECHE

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

El término fluido incluye a los líquidos y a los gases, al fluido que es líquido se denomina lodo, el aire, el gas y la espuma son fluidos neumáticos de perforación.

La parte líquida de un lodo es generalmente agua o aceite, o una mezcla estable de ambos, la emulsión es una miscibilidad - en la que un líquido está suspendido dentro de otro, en forma de glóbulos muy pequeños. El líquido suspendido es la fase interna de la emulsión, el líquido dentro del cual esa fase está suspendida recibe el nombre de Fase Externa o Continua.

En la Sonda de Campeche se han estado utilizando lodos base aceite, con buenos resultados, enumerando a continuación los lodos usados:

1. Lodos base agua.
 - a) Lodos Bentonítico
 - b) Lodo de Agua Salada
 - c) Lodo C.L.S.E. (Cromolignosulfonato emulsionado)
 - d) Lodo C.L.K.E.

- e) Lodo H.M.S. baja densidad
 - f) Lodo C.L.S.E. baja densidad
2. Lodo Base Aceite
- a) Lodo Drilex
 - b) Lodo IMCO.
 - c) Lodo I.M.P.

FLUIDOS BASE AGUA

Los fluidos base agua están constituidos de un porcentaje - mucho mayor que los demás componentes, variando aproximadamente de un 88% para densidades de 1.20 gr./cc. hasta un 57% para densidades 2.30 gr./cc. integrado por tres fases o componentes básicos que son:

- a) La fase liquida o continua del fluido, puede ser agua dulce, agua ligeramente salada, o agua saturada con sal (315,000 p.p.m. de NaCl.), sirve para dispersar la bentonita (Material Coloidal) y arcillas de la formación, disuelve las sales solubles que contiene.
- b) La fase coloidal o fase dispersa, esta formada por la bentonita agregada y la arcilla aportada por la formación, proporcionando el coloide necesario para poder - mantener en suspensión los sólidos inertes y recortes.
- c) La fase inerte, la constituyen todos aquellos ingre---dientes que se le agregan al fluido de perforación con el fin específico de aumentar la densidad del fluido, siendo el mas usado por su economía y abundancia, el -

Sulfato de Bario ($Ba SO_4$) ó barita.

Como ejemplo se describe el sistema de Lodo C.L.K.E.-P. Base Agua.

Este Sistema fue diseñado en el Distrito Villahermosa, Tab. para perforar lutitas sensibles al agua de las formaciones Oligoceno, Eoceno y Paleoceno. Este fluido es de base agua igual que un porcentaje de 60% agua y 40% aceite.

La diferencia consiste en las ventajas que se obtiene por la acción del polímero y el cloruro de potasio, de las cuales se mencionan:

1. Control de filtrado.
2. Resistencia a la alta temperatura.
3. Estabilidad y control en la viscosidad aparente, viscosidad plástica, punto de cedencia y geles.
4. Incorporación mínima de sólidos.
5. Se obtiene un mejor rendimiento de las arcillas.

Los objetivos que se persiguen principalmente son:

- a). Estabilidad del agujero por inhibición de las lutitas sensibles al agua.
- b). Conservación de la ecología marina por el uso de biopolímeros.
- c). Disminución de costos por exceso de consumo de reactivos.
- d). Utilizar agua de mar en un tratamiento con la finalidad de disminuir los costos por espera y consumo de agua dulce de perforación.

Se programó un intervalo de prueba de 1,500 a 3,400 mts. en

los pozos Abkatún 245, C-8 Vertical, perforado en la Plataforma Abkatún "C", el Abkatún 97, C-3 direccional Abkatún "A".

Se mencionan también el consumo promedio de materiales, de un pozo marino del área de Campeche.

PRIMERA ETAPA

TR 20" 550 m.

Lodo Bentonítico - Sodico, densidad 1,08 gr./cc.

Tiempo efectivo 11 días

Materiales:

Barita 2,000 sacos

Bentonita 750 sacos

Pirofosfato 40 sacos

Soda Ash 10 sacos

Sosa Cáustica 30 cuñetes.

SEGUNDA ETAPA

TR 13 3/8" 1,550 m.

Lodo Lignosulfonato Emulsionado, densidad 1,445 gr./cc

Tiempo efectivo 28 días

Materiales:

Barita 13,250 sacos

Bentonida 1,200 sacos

Lignex 450 sacos

Supercaltex 900 sacos

Soda Ash 10 sacos
Sosa Cáustica 100 cuñetes
Diesel 90 m.

TERCERA ETAPA

TR 9 5/8" 3,450 m.
Lodo Cromolignosulfonato Emulsionado, densidad 1,90 gr./cc.
Tiempo efectivo 40 días

Materiales:

Barita 26,000 sacos
Bentonita 2,000 sacos
Lignex 200 sacos
Supercaltex 200 sacos
Sosa Cáustica 50 cuñetes
Diesel 1,50 m³.

CUARTA ETAPA

TR de 7" 4,000 m.
Lodo Bentonítica densidad 1,06 gr./cc.
Tiempo efectivo 28 días

Materiales:

Barita 2,000 sacos
Bentonita 400 sacos
Sosa Cáustica 10 cuñetes
Lodo HMS densidad 0.98 gr./cc.

Deberá de calcularse los sólidos que se incorporan al lodo durante el proceso de perforar el pozo y los sólidos de buena calidad que dan la característica de sustentación para los demás - materiales del fluido de perforación, estos sólidos se conocen - en la terminología petrolera como arcillas caloidales y el nombre comercial como bentonita.

CALCULO DEL CONTENIDO DE BENTONITA

Las normas API RP 13 B de abril de 1978 establecen el procedimiento para desarrollar el cálculo de contenido de bentonita - en el lodo a partir de la prueba de azul de metileno (MBT). La base de la prueba es que las bentonitas absorben considerablemente más cantidad de tinte de azul de metileno el cual, lo absorben las arcillas de bajo rendimiento. Esto se debe a la alta capacidad de intercambio catiónico de la bentonita, el área de superficie o el estado de dispersión. Ha sido una herramienta valiosa para diagnosticar y tratar los problemas del lodo.

Sin embargo, existe cierta mala interpretación de los resultados de la prueba de azul de metileno. Aún cuando la capacidad de intercambio catiónico de la bentonita es considerablemente -- más elevada que la mayor parte de los sólidos de perforación, algunas lutitas arcillosas han demostrado tener capacidades de intercambio catiónico de hasta 60% comparada con la bentonita. La capacidad de azul de metileno de los sólidos de la perforación - es definida de este estudio como la "MBC", para distinguirla de la "MBT", la prueba de azul de metileno de los sólidos del lodo,

en la que no se hace distinción entre los sólidos de la perforación y la bentonita comercial.

El ejemplo de la Tabla 1 demuestra como el valor de la MBT del lodo puede ser engañoso. Los tres tienen el mismo valor MBT (13.5) pero diferente contenido de arcilla que da por resultado una diferencia considerable en las otras propiedades. A medida que la arcilla varía desde totalmente bentonita a totalmente arcillosa, la viscosidad plástica varía desde 23 a 9. Lo más probable es que hay una mayor variación en la pérdida de fluido por alta temperatura y por alta presión.

Una estimación muy aproximada de la cantidad real de sólidos residuales de la perforación, \underline{D} y de la cantidad de bentonita comercial \underline{B} , puede calcularse por medio de las siguientes ecuaciones:

Cantidad real de sólidos de la perforación en libras por barril:

$$D = \frac{S - \frac{(MBT)}{100}}{1 - \frac{MBC}{100}}$$

Bentonita de calidad comercial en libras por barril:

$$B = \frac{\frac{(MBT)}{100} - \frac{(MBC)}{100} (S)}{1 - \frac{MBC}{100}} \quad (5)$$

En lo que MBT = valor de MBT del lodo, a partir del procedimiento de prueba API en lb/bl.

S = Contenido de sólidos de baja densidad, lb/bl obtenido a partir de análisis obtenidos por medio de la retorta o regla para cálculo de sólidos.

MBC = Capacidad de azul de metileno de la muestra de la arcilla de la formación, lb/100 lb de sólidos totales de la prueba explicada en el Apéndice A.

En el apéndice B aparece como se obtienen las ecuaciones anteriores. Las soluciones a la Ecuación 5 también pueden ser calculadas en forma tabulada. En la tabla 3 se da un ejemplo de ello.

La MBT de lodo (equivalente de libras por barril de bentonita), se obtiene del análisis diario de la retorta del lodo. Debe advertirse al personal que hace las pruebas, la conveniencia de usar productos químicos "nuevos", particularmente el peróxido de hidrógeno.

También se sugiere que se usen 2 cm³ de lodo (en vez de 1 -- cm³). Esto producirá un mejor punto final.

La cantidad total S de sólidos de baja densidad se obtiene a partir del contenido de sólidos calculado por análisis de los datos obtenidos de la regla de cálculo.

El único valor que puede ser un tanto difícil de obtener, -

T A B L A 1

VALORES DE MBT

LODO BASE 12.5 lb/gal.
 0.15 lb/bl. de polímero de acción doble
 0.45 lb/gal. reductor de pérdida de fluido acrilato.

MATERIALES lb/bl.

Barita	Bentonita	Arcilla	MBT lb/bl.	Viscosidad plástica cp	Esfuerzo cortante lb/100 pies	Esfuerzo gcl lb/100 pies ²	Pérdida de fluido cm ³ en 30 min.
212	14	---	13.5	23	13	10 seg-10 min.	5.6
181	7	40.5	13.5	14	6	2 9	11.6
149	--	91	13.5	9	2	0 1	15.4

* 27 *

sería el MBC, la capacidad de azul de metileno de la formación que se está perforando. Puede hacerse un cálculo aproximado midiendo el valor MBC de los restos del recorte que se extraen del vibrador. Sin embargo, este valor puede ser menor que el valor real debido a que los sólidos más reactivos pueden llegarse a incorporar en el lodo. Puede obtenerse un número más confiable de valor MBC de la formación usando núcleos o muestras tomadas de las paredes laterales del pozo. En el Apéndice A aparece un método para medir el MBC de los sólidos de la perforación.

La experiencia que se tenga en una cierta área también puede ser valiosa para calcular la reactividad de la formación. Se ha observado que entre más profunda sea la formación menor será el valor MBC de tal forma que también debe considerarse esto.

T A B L A 2

Ejemplo de cálculo de contenido de bentonita comercial.

	Lodo 1	Lodo 2
Peso, lb/gal (supóngase que están corregidos).....	12.5	12.5
Valor MBT lb/bl (equivalente de bentonita)..	12	12
Contenido de sólidos, % por volumen.....	20.5	17.2
Actividad de la formación MBC, (lb/100 lb)..	13	13
De los sólidos calculados con la regla de cálculo:		
S, total de sólidos de baja densidad - - - - (lb/bl).....	94	85
Barita (lb/bl).....	150	200

$$B = \frac{MBT - \frac{(MBC) (S)}{100}}{1 - \frac{MBC}{100}} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

$$B = \frac{12 - \frac{(13) (94)}{100}}{13}$$

$$1 - \frac{\quad}{100}$$

$$= \frac{12 - 12.22}{1 - 0.13}$$

$$B = -0.25 \text{ (o cero)}$$

$$B = \frac{12 - \frac{(13) (94)}{100}}{13}$$

$$1 - \frac{\quad}{100}$$

$$= \frac{12 - 4.5}{- 0.87}$$

$$B = 8.56 \text{ libras por barril}$$

T A B L A 3

Bentonita Comercial Calculada

Sólidos supuesto grav. esp. = 2.65 MBC de la formación = 15

Sólidos baja densidad	MBT del Lodo												
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.0	5	8	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.0	4	7	9	11	14	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0	4	6	8	11	13	15	18	20	0	0	0	0	0
25.0	3	5	7	10	12	14	17	19	21	24	0	0	0
30.0	2	4	6	9	11	14	16	18	21	23	25	28	30
35.0	1	3	6	8	10	13	15	17	20	22	24	27	29
40.0	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21	24	26	28
45.0	0	1	4	6	9	11	13	16	18	20	23	25	27
50.0	0	1	3	5	8	10	12	15	17	19	22	24	26
55.0	0	0	2	5	7	9	11	14	16	19	21	23	26
60.0	0	0	1	4	6	8	11	13	15	18	20	22	25
65.0	0	0	0	3	5	7	10	12	14	17	19	21	24
70.0	0	0	0	2	4	6	9	11	14	16	18	21	23
75.0	0	0	0	1	3	6	8	10	13	15	17	20	22
80.0	0	0	0	0	2	5	7	9	12	14	16	19	21
85.0	0	0	0	0	1	4	6	9	11	13	16	18	20
90.0	0	0	0	0	1	3	5	8	10	12	15	17	19
95.0	0	0	0	0	0	2	4	7	9	11	14	16	19
100.0	0	0	0	0	0	1	4	6	8	11	13	15	18
110.0	0	0	0	0	0	0	2	4	6	9	11	14	18
120.0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	7	9	12	14
130.0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	5	8	10	12
140.0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	6	8	11
150.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	6	9
160.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	7
170.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	5
180.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4
190.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
200.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

En la Tabla 2 aparecen mostrados algunos ejemplos del uso de estas ecuaciones.

A P E N D I C E A

Capacidad para el azul de metileno de los sólidos perforados.

Equipo

Se requieren los siguientes materiales para hacer una estimación de la actividad de la capacidad de intercambio catiónico de las pizarras o esquistos arcillosos por medio del método de azul de metileno:

- a) Solución de azul de metileno: 3.74 grs. de azul de metileno. Calidad USP ($C_{16}H_{18}N_3SCl \cdot 3H_2O$ por cada 100 cm^3 - ($1 \text{ cm}^3 = 0.01$ mili equivalentes).

OBSERVACION: El contenido de agua del azul de metileno - de calidad USP puede variar del que aparece en la fórmula. El contenido de humedad debe determinarse cada vez que se prepara la solución, Séquese una porción de 1 -- gramo de azul de metileno hasta un peso constante a $200 \pm 5^\circ F$ ($93 \pm 3^\circ C$). Hágase la corrección apropiada en el peso del azul de metileno que se va a tomar para preparar la solución, de la manera siguiente:

Peso de la muestra que se va a tomar = $3.74 \times \frac{0.855}{\text{peso de la muestra seca.}}$

- b) Peróxido de hidrógeno: 3% solución.
c) Acido sulfúrico diluido: aproximadamente 5N
d) Matraz de Erlenmeyer: 250 cm^3 .

- e) Micropipeta: 0.5 cm³
- f) Cilindro graduado: 50 cm³
- g) Varilla agitadora
- h) Plato caliente
- i) Papel filtro o papel de prueba de azul de metileno.
- j) Horno - 220 ± 5°F (105 ± °C)
- k) Molino analítico o minitriturador (molino analítico Teckman A-10).
- l) Agua desionizada.
- m) Balanza con una tolerancia de 0.01 gramos.

PROCEDIMIENTO

- (1) Séquese el recorte en el horno a 220°F durante 2 horas y muélase una porción hasta convertirla en polvo.
- (2) Pése 0.57 gramos del polvo en el matraz de Erlenmeyer. Añádanse 10 cm³ de agua. 10 cm³ de peróxido de hidrógeno y 0.5 cm³ de ácido sulfúrico. Déjese hervir suavemente durante 5 minutos. Dilúyase con agua hasta aproximadamente 50 cm³.
- (3) Añádase la solución de azul de metileno con la micropipeta de matraz. Después de cada adición de 0.5 cm³, agítese el contenido del matraz durante aproximadamente 30 segundos. Mientras los sólidos están aún suspendidos, -sáquese una gota del líquido con varilla agitadora y colóquese la gota sobre el papel de filtro o el papel de prueba. Se alcanza el punto final de la titulación --- cuando el tinte aparece como un anillo o halo de azul -

desteñido que rodea a los sólidos tenidos.

- (4) Cuando se detecte el tinte azul que se extiende desde la mancha, agítese el matraz 2 minutos adicionales y - póngase otra gota sobre el papel filtro. Si es evidente nuevamente el anillo azul, se ha llegado al punto final. Si el anillo azul no aparece, continúese como en la etapa 3 hasta que la gota que se toma después de agitar dos minutos vuelve a mostrar el tinte azul.

CALCULOS

- (1) Reporte del MBC del recorte, equivalente de libras de bentonita/100 libras de recorte usando la siguiente -- fórmula.

$$MBC = \text{cm}^3 \text{ de la solución de azul de metileno} \times 2.5.$$

- (2) Para expresar la cantidad de intercambio catiónico de los recortes arcillosos en miliequivalente/100 gramos, úsese la fórmula siguiente:

$$CEC = \text{cm}^3 \text{ de solución de azul de metileno} \times 1.95.$$

- (3) Úsese las tablas (por ejemplo la Tabla 3) para encontrar el contenido de la bentonita comercial.

APENDICE B

Para obtener el contenido efectivo de "bentonita real" en el lodo, debe determinarse la capacidad de intercambio catiónico con la que contribuyen los sólidos de desprendimiento de la perforación. Un procedimiento para medir la capacidad de azul -

de metileno (MBC) de los sólidos desprendidos durante la perforación es el que se ha dado en lo anterior. La cantidad total de sólidos de baja densidad en un lodo también puede ser necesario para calcular el contenido "real de bentonita". Esto puede obtenerse por diferentes cálculos ya sea con regla de cálculo, tablas, gráficas, etc.

Puede obtenerse el procedimiento para calcular el contenido de bentonita comercial de un lodo usando las suposiciones y valores siguientes:

- (1) La barita no contribuye en nada a la prueba de azul de metileno.
- (2) La bentonita comercial aparecerá en forma completa por medio de la prueba de azul de metileno.
- (3) MBC = actividad de la formación (sólidos residuos de la perforación) en libras MBC/100 libras de sólidos de la prueba en el Apéndice A.
- (4) Hágamos que \underline{S} = total de sólidos de baja densidad en libras por barril. Esto incluirá:
 \underline{B} = contenido de bentonita comercial.
 \underline{A} = sólidos residuos de la perforación activos (con alto valor MBC).
 \underline{I} = sólidos residuos de la perforación inactivos (con bajo valor MBC).
Por lo tanto, $\underline{S} = \underline{B} + \underline{A} + \underline{I}$
- (5) \underline{MBT} - resultados de la prueba de azul de metileno en el lodo en libras por barril. Estos incluirán:
 \underline{B} = contenido de bentonita comercial.

A = sólidos residuos de la perforación activos.

Por lo tanto, $\text{MBT} = \text{B} + \text{A}$

- (6) D = sólidos totales de los residuos de la perforación en el lodo en libras por barril. Estos incluirán:

A = sólidos (residuos de la perforación activos).

I = sólidos (residuos de la perforación inactivos).

De tal manera que, $\text{D} = \text{A} + \text{I}$

Hablando de manera general el contenido de los sólidos, residuos de la perforación de los lodos, base agua ha sido determinado restando el valor MBT de lodo de los sólidos totales de baja densidad (S). Pero por la definición de MBT y S, lo que se determinó en realidad fue el contenido de los sólidos residuos de la perforación inactivos, I. Por lo tanto, debe encontrarse un método para sacar los sólidos residuos de la perforación activos, A.

$$\text{S} = \text{B} + \text{A} + \text{I}$$

$$\text{MBT} = \text{B} + \text{A}$$

$$\text{S} - \text{MBT} = \text{I}$$

Este valor puede usarse para calcular el total de los sólidos residuos de la perforación (B). El total de los sólidos recortes de la perforación (D) es la suma de los sólidos residuos de la perforación activos e inactivos:

$$\text{D} = \text{A} + \text{I}$$

$$\text{D} - \text{A} = \text{I}$$

(2A)

Los sólidos residuos de la perforación activos, A, pueden obtenerse multiplicando los sólidos totales residuos de la perforación, D, por el porcentaje de sólidos residuos de la perforación activos o MBC/100.

$$\underline{A} = \underline{D} \frac{\text{MBC}}{100}$$

Sustituyendo lo anterior en la ecuación 2A:

$$\underline{D} - \underline{D} = \frac{\text{MBC}}{100} = 1$$

$$\underline{D} \quad \underline{I} = \frac{\text{MBC}}{100} = \underline{I} \quad (3A)$$

$$\underline{D} = \frac{\underline{I}}{\underline{I} - \frac{\text{MBC}}{100}}$$

De esta manera, sustituyendo a la ecuación 1A en la ecuación 3A, los sólidos totales residuos de la perforación, la ecuación 4 puede ser calculada por medio de:

$$\underline{D} = \frac{\underline{S} - \text{MBT}}{\underline{I} - \frac{\text{MBC}}{100}} \quad (4)$$

El contenido de bentonita comercial (B) puede obtenerse restando de los sólidos totales residuos de la perforación D de los sólidos totales de baja densidad S.

$$\underline{D} = \underline{A} + \underline{I}$$

$$\underline{S} = \underline{B} + \underline{A} + \underline{I} \quad (4A)$$

$$\underline{B} + \underline{S} - \underline{D}$$

Sustituyendo la ecuación 4 por la D en la ecuación 4A y -- combinando nuevamente el contenido de la bentonita comercial, -- puede obtenerse directamente la ecuación 5.

$$B = \frac{\frac{MBT}{100} - \frac{(MBC)(S)}{100}}{I - \frac{MBC}{100}} \quad (5)$$

En la Tabla 2, se da un ejemplo del cálculo del contenido de bentonita comercial. Ambos lados deben tener el mismo peso, el mismo valor MBT y la misma actividad de formación. La única diferencia está en el contenido de sólidos. Del valor MBT del lodo, ya previamente debería suponerse que la cantidad de bentonita sería la misma en ambos lados.

Resolviendo la ecuación para la bentonita comercial, B, -- con los datos del lodo I produjeron un valor negativo. Esto puede deberse al redondeo de los valores de entrada. Si la actividad de la formación fue en realidad 12.77 libras por cada 100 libras (en vez de 13), la B se calcularía entonces como de cero. Si al calcular B sale un pequeño valor negativo, no habrá presente bentonita comercial. Sin embargo, si B es un valor negativo grande, indicará el valor de la actividad de la formación -- que se está usando es demasiado grande.

En el lodo 2, hay presente aproximadamente 8.5 lb/bl de --

bentonita comercial. De esta manera, puede verse que el valor - MBT de un lodo no es indicativo del contenido de bentonita comercial del lodo, pero usando la ecuación 5, puede obtenerse un valor más válido para el contenido de bentonita.

La Tabla 3 es un ejemplo de las tablas que puede usarse en vez de la ecuación 5, para aquellos que prefieren como solución la encontrada en una tabla.

III. PRUEBAS Y RESULTADOS OBTENIDOS EN EL CAMPO

INFORME DEL FLUIDO BENTONITICO POLIMERO EMULSIONADO DE BAJA DENSIDAD, UTILIZADO EN LA PLATAFORMA AKAL F, POZO CANTARELL 48, CONDUCTOR 12.

Por la necesidad imperiosa de perforar las Brechas del Paleoceno en el Campo AKAL, Complejo CANTARELL, se probaron distintos tipos de fluidos que, desde luego, reúnan las características apropiadas de un lodo que, además de su baja densidad (0.90 a 1.05 Gr/C.c.), cuenta con una buena reología, gelatinosidad, filtrado, etc.

El lodo que se probó BENTONITICO POLIMERO EMULSIONADO BAJA DENSIDAD, perforó 97 mts. de los cuales 79 se perforaron sin problemas, con densidad de 0.95 a 0.98 Gr/C.c.

Para la etapa inicial 170 m³ de lodo (presas de asentamiento, de paso y succión).

Las cantidades de materiales químicos agregados se basarán en la siguiente formulación por metro cúbico:

a. AGUA DE PERFORACION	550 - 600 Lts.
b. BENTONITA	50 Kgs.
c. HIDROXIDO DE SODIO	1.5 Kgs.
d. POLYCEL	3 - 10 Kgs.
e. DIESEL	400 - 450 Lts.
f. CANASOL	3 - 5 Lts.

TABLA DE CONSUMO

PRIMER VOLUMEN		SEGUNDO VOLUMEN		TOTAL
PREPARACION 90 M ³		PREPARACION 80 M ³		VOL. 170 M ³
AGUA	54 M ³	AGUA	44 M ³	98 M ³
BENTONITA	90 Scs.	BENTONITA	80 Scs.	170 Scs.
NaOH	3 Cñts.	NaOH	2 Cñts.	5 Cñts.
POLYCEL	14 Scs.	POLYCEL	6 Scs.	20 Scs.
DIESEL	36 M ³	DIESEL	36 M ³	68 M ³
CANASOL	2 Tamb.	CANASOL	1.25 Tamb.	3.25 Tamb.

RECOMENDACIONES:

Cuando el porcentaje de Diesel presente en el lodo rebasa - el 40%, el seguir adicionándolo ocasiona altas viscosidades que solo se controlan agregando agua, ya que ni los lignosulfonatos la reducen.

Se recomienda usar en las Rumbas o Vibradores Convenciona-- les una combinación de Mallas, malla 20 X 8 y malla 40 X 40. es- to es con el fin de eliminar sólidos finos en una y por la otra evitar que derrame y se tire en exceso el lodo, por el tipo de - barrena que se usa (de insertos) el recorte sale totalmente moli- do en forma de arena fina.

Es necesario, el uso de un antiespumante por observar con -

frecuencia constante espuma superficial originada por los impactos de caída en el vibrador y eliminador de sólidos.

El Canasol agregado en exceso, produce alta viscosidad y gelatinosidad. En la preparación inicial, se presentan altas viscosidades, ésta se puede remediar con adición de 2 a 3 Kg/M³ de lignosulfonato.

Al perforar las Calizas Carbonatadas del Paleoceno, se observó un aumento en la dureza del lodo, por lo que también es conveniente su control a través de la edición de Carbonato de Sodio.

Es imprescindible el uso constante de un eliminador de sólidos.

Al siguiente cuadro, es de utilidad en el uso de este lodo:

<u>PARA:</u>	<u>AGREGAR:</u>
SUBIR DENSIDAD	AGUA, BENTONITA, BARITA.
BAJAR DENSIDAD	DIESEL, AGUA, ELIMINADOR DE SOLIDOS.
SUBIR VISCOSIDAD	BENTONITA, POLYCEL.
BAJAR VISCOSIDAD	AGUA DISPERSANTES.
BAJAR FILTRADO	POLYCEL, DIESEL, BENTONITA.
ELIMINAR SOLIDOS	MALLAS FINAS, ELIMINADOR SOLIDOS, DISOLUCION.

CONCLUSIONES:

Consideramos que este lodo llena las características necesarias para perforar este intervalo, teniendo además la ventaja de

su fácil manejo, rápida preparación y bajo costo.

Su buena reología y gelatinosidad permite el correcto aca--
rreo de los recortes de perforación.

PRUEBA DEL FLUIDO "CROMOLIGNOSULFONATO EMULSIONADO (C.L.S.
E.) BASE AGUA", EN EL POZO ABKATUM 211, C-11 (PLATAFORMA ABKA--
TUM "H").

DESARROLLO DE LA PRUEBA:

Con la T.r. 13 3/8" cementada a 1531.25M. se acondicionó el lodo C.L.S.E. utilizado en la etapa anterior, el 9 de febrero de 1982 se perforó cemento, cople flotador y zapata con lodo de peso igual a 1.50 gr/cc la prueba de admisión no se efectuó por tener el equipo Howco en malas condiciones, por lo cual se aumentó densidad a 1.80 gr/cc (programada) basándose en antecedentes del Pozo 212, C/6.

A la profundidad de 3364.0 M. con densidad en el fluido de 1.85 gr/cc se tuvo pérdida total (40 M³) por ruptura de la T.R. de 13 3/8" en el intervalo de 591.3m. a 593.0 m., por lo cual se colocaron dos tapones de cemento, uno a 1400.0 m. con 5 tons. de cemento T-H, densidad 1.90 gr/cc y el segundo a 591.0 m. con 20 tons. de cemento T-H, densidad 1.92 gr/cc. después de seis días sin reconocer fondo (3364.0m.) se bajo encontrando ligera resistencia de 2931.0m. a 3364.0m. (433.0m.), se repaso a fondo, se circulo y efectuó viaje corto normal, se saco sarta para bajar T.R. 9 5/8", el registro de calibración no se tomo por el daño -

en la T.R. mencionada.

CONCLUSIONES:

De acuerdo con el desarrollo anteriormente detallado se concluye que el sistema "Base Agua" cumplió con los objetivos indicados.

La introducción de la T.R. 9 5/8" se efectuó sin problemas, razón por la cual se estima que la estabilidad del agujero fue - satisfactoria.

Se utilizaron en total, en el intervalo perforado: 1531.25m. a 3364.0m. (1832.75m.)

4 BARRENAS 12 1/4" TIPO 111 (676.0 m.)
5 BARRENAS 12 1/4" TIPO 121 (740.0 m.)
4 BARRENAS 12 1/4" TIPO 131 (412.0 m.)
1 BARRENA 12 1/4" TIPO 321 (5.0 m.)

Los avances obtenidos no pueden considerarse efectivos por carecer de barrenas adecuadas al tipo de formación.

Los tratamientos dados son comunes por tratarse de un fluido convencional (C.L.S.E.), razón por la cual no se requiere de - personal especializado como es el caso de las emulsiones inver--sas.

El índice de accidentes se disminuye al utilizar el tipo de fluidos cromolignosulfonatos (C.L.S.E.) base agua.

El daño a la ecología marina es casi nulo con este tipo de fluido que con los de base aceite.

El costo por metro perforado fue de \$ 2,782.45 el cual es un costo aceptable y competitivo si observamos el cumplimiento del programa de perforación.

RECOMENDACIONES:

Se requiere de un aditivo capaz de disminuir las altas geles y viscosidades causadas por los efectos de la temperatura a más de 3,000 m.

Para tener un mejor resultado en la aplicación del producto "Lubrilex", es necesario agregarlo cuando se prepara (porcentaje de sólidos normales) y mantener la concentración de 2-4 Kg/m³ durante la perforación.

Los tipos de arcilla, salinidad, profundidad y temperatura determinará el empleo del fluido base agua (C.L.S.E.).

CONSUMO DE MATERIALES QUIMICOS
EL FLUIDO BASE AGUA "C.L.S.E."

ETAPA 12 1/4", INICIO 5/FEB./82, TERMINO 31/MARZO/82

<u>MATERIAL</u>	<u>CANTIDAD</u> <u>SACOS</u>	<u>TONS.</u>	<u>COSTO M.N.</u>
BARITA A GRANEL	19377	967.750	\$ 3'562,655.40
BENTONITA	1255	62.750	69,025.00
LIGNEX	265	6.625	82,812.50
S. CALTEX	1300	32.500	536,250.00
SOSA CAUSTICA	81	16.200	162,502.20
SODA ASH	75	3.750	14,538.75
OBR. GRAN. MED.	100	2.500	19,250.00
IMCO PLUG. MED.	30	0.681	12,635.38
IMCO THIN	410	9.315	202,722.34
C.M.C.	65	1.625	54,681.25
LUBRILEX	140	3.500	150,500.00
DIESEL	115	115.000	76,475.00
AGUA PERF'N	335	335.000	155,500.30
			<u>\$ 5'099,548.12</u>

METROS PERFORADOS = 1832.75 MTS.

COSTO / METRO = \$ 2,782.45

INFORME DE LA PRUEBA DE CAMPO, DEL FLUIDO EMULSION INVERSA SISTEMA KENOL'S (IMCO), APLICADO EN EL POZO EXPLORATORIO YUM No. 1. PERFORADO POR LA PLATAFORMA AZTECA.

La Gerencia de Perforación, tuvo a bien autorizar la utilización del fluido de emulsión inversa "Sistema Kenol'S IMCO", para evaluar y tratar de resolver los problemas que presentan las zonas de lutitas hidrofílas del Mioceno, Oligoceno y Eoceno.

Lo anterior, por tener antecedentes del Pozo Victoria No. 1. (de Ciudad Pemex) con el cual se correlaciona el Pozo Exploratorio Yum No. 1

T.R. = 30 PULG.:

Se perforó a 150 mts. con agua salada y bache de lodo bentonítico de peso 1.06 gr./cc. a 1.10 gr/cc.

PROBLEMA: Al bajar T.R. a 90 m. encontró resistencia, sin lograr vencerla, se tuvo que recuperar la T.R. para ampliar agujero y repasando por varias ocasiones, posteriormente se bajó y cementó T.R. a la profundidad de 146 m.

T.R. = 20 PULG.:

Se perforó a 505 mts. con Lodo Bentonítico de Densidad=1.08 gr./cc., efectuaron viajes libres de Zapata a fondo, sacando para meter T.R. y comentando a 500 m.

T.R. = 16 PULG.:

Se perforó hasta 797 m. con Lodo C.L.S.E. (Base Agua) y con

Densidad de 1.20 gr./cc., por problemas de gasificación se aumentó Densidad a 1.24 gr./cc. logrando perforar a 1011 m. Al circular observó gasificación, por lo que aumentaron Densidad a 1.35 gr./cc., provocándose pérdida parcial de $11m^3$ se bajó Densidad a 1.28 y se metió Obturante Granular Medio (10 kg./m^3) al sistema de Fluido lográndose perforar hasta 1074 m. Donde nuevamente se suspende por gasificación, al circular y levantar la Sarta observó ésta empacada, se trabajó con 50 ton. S.S.P. Logrando liberar, se aumentó la densidad a 1.55 teniéndose pérdida por lo cual se metió Obturante Granular Medio (5 kg./m^3), circuló y efectuó viajes por varias ocasiones controlando gasificación y estabilizando agujero, se tomó registro de Inducción y acondicionó a 22" -- con Barrena 14-1/4 a 26", en espera de la T.R. Después de 53 horas se bajó nuevamente, encontrando resistencia a 502.74 m. por T.R. dañada sacó y bajó molino hechizo, luego se bajó con barrena, 11-3/4 - 22", a 1074 m. (Fondo) circulando aumentando Densidad a 1.57 gr./cc., al sacar barrena observó atorón en la Zapata quedando un pedazo de Eslabón, un Cono y Brazo corto como Pez, - armó pescante Magnético y Canasta, bajando libre a 1073 m., sólo recuperó un Eslabón, al efectuar viajes con otra Barrena ampliadora observó la pérdida de otro Eslabón y cinco dientes de - un Cono, armó nuevamente Barrena ampliadora y colectora y baja a 1074 m. sin lograr recuperar Pez, se tomó registros de calibración, al bajar con Barrena 26" a fondo y circular observó gasificación, controla y baja T.R. cementando a 1074 m.

OBSERVACION: Durante 25 días, se esperó e instaló exapodo.

T.R. = 13-3/8.:

Después de incar Pilotes y fijarse en conductor No. 4 (EXAPODO), con fluido de Emulsión Inversa "IMCO" de Densidad 1.60 -- gr./cc. con Barrena de 14 3/4", y canasta colectora perforó a -- 1075.68 m. observando pérdida parcial (5m³), al sacar recuperó - Núcleo 25 cm. con fragmento de brazo y Cono de la Barrena Ampliadora (Anterior), bajó nuevamente con Canasta y Perfora a 1175m. donde se observa abundante derrumbe, se aumentó Densidad a 1.78 perforando a 1338 m., circula y desaloja abundantemente recorte, al circular se notó incremento de Volumen en presas y viscosidad -- por la contaminación con flujo de agua salada, se acondicionó y bajó libre a fondo, circulando aumentando Densidad hasta 1.86 -- gr./cc. por tener derrumbe, se observó pérdida de 38 BLS. por em pacamiento (Derrumbe), se sacó para generar vol. se acondicionó Lodo aumentando Densidad a 1.90 gr./cc. bajando a fondo libre y efectuando prueba de goteo con presión máxima 225 Psl. a 1338 m. al recuperar circulación se notó gasificación, controlado el gas tomó registros Inducción hasta 1338, después perforó con Barrena ampliadora 18-1/2", hasta 1402 m. sacando libre y bajando a to-- mar registro de calibración, repasa estabilizando agujero hasta 1402 m. circula y baja T.R. cementándola a 1400 m.

Con la invasión de Flujo de agua salada (30 m³) en cualquier otro Sistema de Emulsión Inversa se hubiese roto la Emulsión, no así en éste tipo que solo se contaminó incrementando Reológicas y Filtrando. El lodo contaminando (240 m³) se recibió en los Barcos Tauro y Saturno del Golfo, a éste se le dió tratamiento para

utilizarse nuevamente.

T.R. = 9-5/8.:

Con lodo "IMCO", y Densidad de 1.95/90 efectuó prueba de go-teo a 1430 m. (Grad. de Fractura = 2.12 gr./cc.), se perforó a - 1699 m. con pérdida parcial de 15 m³ (Densidad = 1.96 gr./cc.), se controló con gasto y continuó perforando hasta 1805 m., al -- circular observó abundante recorte y derrumbe, al levantar sarta observó fricción de 30-40 Ton., nuevamente bajó a 1700 m. y - de ahí circula hasta el fondo (1805 m.) cada 50 m. continuó perfo-rando a 1858 m. Donde observó pérdida de 14 m³ continuó perfo-rando hasta 2567 m. con pérdida parcial (22 m³), se observó escu-rrimiento (s/circular) y lodo en malas condiciones, gas 38,000 - p.p.m.), se aumentó Densidad a 2.0 gr./cc. y se circula desalo--jando bache de agua salada, lodo floculado y derrumbe, razón por la cual no se utilizó el estrangulador.

Se bajó a tomar registro T.D.T. y se corrió el trazador ra-dioactivo.

Después de detectadas las zonas de pérdidas colocaron 2 ta-pones de cemento, el primero a 1516 m. y el segundo a 1360 m. -- checó cima con Barrena 9 1/2". (T.R. 13-3/8" a 1170 m.) rebajó - cemento hasta 1425 m. donde observó pérdida parcial, se bajó Den-sidad hasta 1.90 gr./cc., efectuando varios viajes para estabili-zar agujero (volumen de lodo perdido durante los viajes 81 m³), al llevar estabilizado 1490 m., suspende por gasificación, aumen-tando Densidad a 1.93 gr./cc. sacó a superficie y baja franca --

1415 m., se colocaron (DOS) 2 tapones de gelatinas IMP.OP-301 -- (anexo No. 1), se bajó Barrena 9 1/2 y rebaja tapón a 1414 m. de salojando abundante derrumbe, saco barrena a superficie, para meter molino hechizo 11-5/8" a 1179 m. por anillo de cemento en -- T.R. con barrena 9 1/2", repaso hasta 2509 m. observando pérdidas parciales por empacamientos y problemas de fluido (13 m³), densidad de lodo 1.98 gr./cc., saco a superficie y mete barrena ampliadora (8 1/2 a 13 1/2) hasta 2516m., efectuó viajes cortos libres, se acondicionó fluido y se tomo registro de densidad, -- echados y calibración.

Después de interpretados los registros y mejoradas las condiciones reológicas del fluido IMCO, (por personal de Pemex) se continuó perforando con densidad de 1.98 gr./cc., y con barrena 12-1/2 ", hasta la profundidad e 3850 m., al sacar barrena a superficie observó estabilizadores forrados con formación, bajó con barrena 12 1/8" con T.P. franca bajo a 1150 m. circulando y observando lodo gelatinosos, al bajar a 2500 m. observó pérdida total 70 m³, sacaron a la zapata y generaron volumen, se bajan circulando cada 300 m. con baja Geles y gasto en el fluido, bajó a fondo y acondicionó para registros, sacó barrena a superficie para T.R., al llevar introducidos 1400 m. intentó circular sin éxito por inyectar lodo (24 m³) sin obtener circulación levanta -- T.R. a superficie con barrena 12 1/8 y densidad de 1.98 gr./cc. se baja a fondo normal.

Al bajar nuevamente a reconocer agujero observó pérdida parcial (4 m³), teniendo que sacar a la zapata y esperar material -

para acondicionar fluido. Se bajó y acondicionó a fondo con pérdida parcial (2 m^3) se circuló con densidad 1.97 gr./cc. y se sacó para bajar T.R.

Las pérdidas de fluido más severas, fueron las inducidas -- por empaques debidos a los anillos de cemento (tapones) y a los diámetros de barrenas $9 \frac{1}{2}''$ y herramientas de $6 \frac{1}{2}''$, cuando se metió barrena ampliadora de $8 \frac{1}{2}''$ a $13 \frac{1}{2}''$. hasta 2516 m. -- se pudo controlar sin tantos problemas.

También fueron originadas las pérdidas por tener en el Fluido (IMCO) altas Geles (Gel: 0-4 - 10-75) a causa de un exceso de tratamiento (VR-KENO'S), como también de una contaminación de -- gas (CO_2) y flujo de agua salada.

Por tener los flujos de formación (agua salada y gas) en -- equilibrio con la presión hidrostática (762 kg/cm^2), nos limita a no tener variación, tanto en la columna del lodo, como en gas--to, también nos restringe la velocidad de meter y sacar tuberías.

Cabe mencionar que lo anterior, provocó el sacar la T.R. -- $9 \frac{5}{8}$ por tener gelatinoso el fluido, por gas carbónico (CO_2) -- también se inyectó fluido (pérdida) por tratar de circular en -- tramos de 500 m.

De acuerdo a los datos obtenidos en el desarrollo de ésta -- primera prueba, se considera que el fluido reunió las condicio--nes de control a pesar de las contaminaciones de agua salobre y gas carbónico.

Los costos generados por consumo de materiales químicos fueron altos, por problemas de pérdidas y contaminación del fluido durante la perforación.

Los datos arrojados durante la perforación, se utilizarán como correlativo para perforar con éxito los pozos futuros.

Al utilizar este tipo de fluido (Emulsión Inversa), las normas de mantenimiento o limpieza de equipo como también las de accidentes de trabajo (seguridad), al utilizar este fluido se cumplieron con extrema vigilancia por parte del personal de la Compañía.

Será necesario contar con el suficiente suministro de materiales químicos a fin de evitar los tiempos de espera, de acondicionamiento del fluido y para resolver los problemas de perforación, lo anterior se refleja en los costos utilizados en la perforación del pozo.

Se solicitará nuevamente la aplicación del sistema Kenol's, a fin de obtener definitivamente la evaluación de sus propiedades como también de los costos generados durante la perforación.

ANEXO No. 1

La Gerencia de Perforación solicitó al Instituto Mexicano del Petróleo, la aplicación del obturante permanente "IMP-OP-301" (Proyecto D-3612) con el objeto de resolver el problema de pérdi

da de circulación presentada en el Poz "YUM No. 1", perforado -- por la Plataforma Azteca.

ANTECEDENTES:

Se perforó a 2516 m. con Barrena de 9 1/2" y densidad de lodo 1.96 gr./cc. x 85 seg., circuló desalojando recortes, al levantar sarta a 1683 m. observó escurrimiento por lo que cerro -- BOP Esférico, indicando presión al cierre de 900 lbs./pulg²., se logró sacar a la Zapata (13 3/8" - 1400 m.) con escurrimiento de lodo en malas condiciones por invasión de Agua Salada y Gas, se acondicionó y aumentó densidad de 2.0 gr./cc. x 80 seg. circulando para estabilizar columnas, se logró sacar sin manifestar, se tomo Registro T.D.T. con franca a 1900 mts. (Registro Base), se bajó 18 m. más la franca para bombear el trazador radiactivo compuesto por 1500 lbs. de Salmuera de Cloruro de Calcio y 5 ml. de Yoduro de Sodio (25 milicuris), desplazándolo con 118 bls. de lodo con densidad de 2.0 gr./cc. x 80 seg. y con gasto de 2 lbs. x min. y presión de 550 lbs. sin circulación, posteriormente se tomaron otros Registros T.D.T. (1909 m. - 1400 m.) encontrando cima del trazador a 1524 m.

PROCEDIMIENTO:

Después de estudiar el comportamiento del Pozo, el personal del I.M.P. y del Departamento de Perforación, decidieron colocar el Obturante en las Zonas de pérdida que se manifiestan en el Intervalo comprendido entre la Zapata 13 3/8" a 1400 m. y el tapón

de Cemento colocado hasta 1526 m.

La formulación y los componentes utilizados en el Tapón IMP-OP-301 se mencionan en la siguiente tabla:

MATERIALES	UNIDAD	CONSUMO/M ³		CONSUMO/10M ³		CONSUMO/16M ³	
		KG. SCS.	o CUÑ.	KG. SCS.	o CUÑ.	KG. SCS.	o CUÑ.
IMP-OP-301-A	22.7 KG/SCS.	95	4.18 SCS	999	44 SCS.	1521	67 SCS.
IMP-op-301-NN.	25 KG./CUÑ.	5	0.2 CUÑ.	50	2 CUÑ.	80	3.2 CUÑ.
IMP-OP-301-CAT.	25 KG./CUÑ.	4	0.16 CUÑ.	40	16 CUÑ.	64	2.5 CUÑ.
IMP-OP-301-REI.	25 KG./CUÑ.	1	0.04 CUÑ.	20	0.5 CUÑ.	16	0.75 CUÑ.

COSTO/M³ = \$ 10,000.00

COSTO/10 M³ = \$ 100,000.00

COSTO/16 M³ = \$ 160,000.00

PREPARACION:

El Tapón de Gelatina Permanente se preparó en la Presa del Equipo, tomando como base Lodo Bentonítico sin reactivos, de peso -- 1.47 gr./cc. x 70 seg. luego se agregaron las cantidades de Reactivos del obturante descrito en la tabla anterior, la densidad final alcanzada con los componentes fué de 1.38 gr./cc. x 150 -- seg.

COLOCACION DEL PRIMER TAPON:

Con T.P. franca a 1415 m. se bombeó 6.837 m³ (43 bls.) de -- Obturante I.M.P., desplazándolo con 6.36 m³ (40 bls.) de Lodo -- Emulsión Inversa de peso 1.93 gr./cc. y presión 1000 lbs./pulg². para hacerlo llegar al extremos de la T.P. de 5". Se cerró pre-- ventor y se inyectó a la formación con una presión de 1200 -- --

lbs/pulg²., se levantó T.P. a 1380 m. dejando represionada la -- T.R. con 250 lb/pulg². después de 24 horas de fraguado se abrió BOP y se circuló, sacó a superficie para colocar barrena (9 1/2"), bajo a 1437 m. donde encontró resistencia franca, circula con lodo de 1.93 gr./cc. observando pérdida de Fluido de 7m³, efectuó viaje corto a la Zapata para bajar repasando hasta 1437 m. Durante la operación desalojó abundante derrumbe y gelatina, se perdió 22 m³ de Lodo.

COLOCACION DEL SEGUNDO TAPON:

Se prepararon 16m³ de Gelatina con Agua de Mar con las características referidas en la tabla mencionada. Con la T.P. de 5" franca colocada a 1380 m. se metió 16m³ (100 bls.) del Obturante I.M.P. con presión de 1800 lbs/pulg², con la Gelatina en el extremo inferior de la T.P. se cerró preventor y se inyectó a la formación con presión máxima de 2200 lbs/pulg² y gasto de ---- 2 bls/min., obteniendo una presión final de 400 lbs/pulg² y quedando el pozo represionado con 250 lbs/pulg².

Después de 24 horas de fraguado se abrió preventor, se sacó T.P. para colocar Barrena de 9 1/2" bajando a 1247m. donde encontró resistencia franca, repasó hasta 1960m. con lodo 2.00 gr./cc. Durante la operación se perdieron 8m³ de lodo regresando los mismos al parar circulación, se menciona también que se desalojó -- abundante recortes, cemento y Gelatina del primer tapón, los empacamientos que se presentaron fueron a causa del anillo de Cemento dentro de la T.R. de 13 3/8".

CONCLUSIONES:

Con la finalidad de asegurar el éxito de la aplicación del Obturante I.M.P. - OP-301, es necesario determinar por cualquier método la(s) zona(s) de pérdidas.

Con objeto de tener una homogenización de los productos de la Gelatina mencionada, se debe contar con un buen equipo de mezclado.

Con el propósito de utilizar el total del volumen preparado (costos) del Obturante, será necesario contar con succiones de - Bombas a ras del fondo de las presas y tanques.

La concentración del producto I.M.P.-01-301-RET, dependerá de la temperatura a la cual se localizó la zona de pérdida.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que el - Obturante permanente IMP-301 cumplió satisfactoriamente con el - objetivo.

RECOMENDACIONES:

Será necesario contar con un equipo de mezclado auxiliar, a fin de preparar volúmenes (aprox. 100 m³) para intervenir pozos con fracturas y cavernas de magnitudes considerables.

Es necesario lavar eficientemente el equipo de mezclado utilizado en la preparación del Obturante para evitar ensolvamien--tos.

ANALISIS DE CONSUMO Y COSTOS GENERADOS POR MATERIALES QUIMICOS
MATERIALES EMPLEADOS EN EL POZO

<u>MATERIAL</u>	<u>TONELADAS</u>	<u>COSTOS</u>
BARITA	3,790.35	\$ 32'831,284.00
IMCO - VR	91.71	2'017,620.00
DRILOX	138.00	793,500.00
CLORURO DE CALCIO	152.45	1'387,295.00
KEN-CEL	1.29	96,234.00
CAL IND.	14.80	177,600.00
KENOL'S	122.80 m ³	9'087,200.00
KEN-CAL	16.60 m ³	363,540.00
DIESEL	1,642.00 m ³	1'313,600.00
		<hr/>
		COSTO: \$ 48'067,843.00

VOLUMEN DE LODO RECIBIDO EN OTRA PLATAFORMA:

LODO IMCO 60.00 m³ 1'113,463.00

NOTA: Los 60 m³ de Lodo tenia una densidad de 1.80 gr./cc.

Volumen de Lodo Drilex, requerido para llenar pozo por pérdida - total:

LODO DRILEX 45.00 m³ 254,534.45

NOTA: Los 45 m³ de Lodo tenfa una densidad de 1.80 gr./cc.

Costo total por material químico:

Empleados \$ 49'435,843.00

Metros Perforados: 2,776.00

A: Costo por metro perforado, considerando el volumen el Lodo - con pérdidas:

COSTO TOTAL = 17,808.30
METROS PERFORADOS

B: Volumen de Lodo perdidos por falta de circulación:

VOL. IMCO 807.00 m³ 11'882,455.00

El Lodo tenía una densidad de: 1.98 gr./cc.

Con el objeto de establecer una comparación de costos con respecto a otros fluidos, se determina el costo por metro perforado sin contar el generado por perdidas, (Inciso B), lo anterior es para relacionarlos como operaciones normales de perforación.

VOL. IMCO (COSTOS)	37'553,388.00
METROS PERFORADOS	2,776.00
COSTO POR METRO PERFORADO	13,527.87

OBSERVACION:

En los costos totales no se tomo en cuenta el volumen de lodo recuperando 383 m³ por utilizarse en próximas operaciones.

Tabla Comparativa de costos de diferentes fluidos de perforación, empleados en la Sonda de Campeche.

FLUIDOS

POZOS	YUM No. 1	IXTOC 1-B	ABKATUM 245	ABKATUM 211
LODO	IMCO	DRILEX	CLKE-P	C.L.S.E.
INTERVALO PERFORADO	2,776.00	1,735.00	1,843.00	1,832.75
COSTO DE MATERIALES	37'553,388.00	7'160,370.50	8'768,359.30	5'099,548.12
COSTO POR METRO	13,527.87	4,127.01	4,757.65	2,782.45

NOTA: Con costos de materiales actualizados para 1982.

INFORME DE LA PRUEBA DE CAMPO DEL FLUIDO EMULSION INVERSA --
 "SISTEMA I.M.P. - EL APLICADO EN EL POZO POL-79, PERFORADO POR -
 LA PLATAFORMA POL "A".

Este sistema fue diseñado por el Instituto Mexicano del Pe-
 tróleo, para perforar lutitas deleznable de las formaciones del
 Mioceno, Eoceno y Paleoceno.

El objetivo principal de esta prueba fue evaluar este tipo
 de fluido para asegurar la estabilidad del pozo inhibiendo las -
 lutitas sensibles al agua.

El intervalo de prueba programado fue de 1590 m. a 3700 m.,
 la densidad de trabajo dependerá de la prueba de admisión que se
 realice, así mismo se correlacionó con las condiciones y proble-
 mas que se presentaron en el pozo POL No. 1. (Tablas No. 1 y 2).

Se perforó en 314.30 hrs. utilizando 9 Barrenas de 12 1/4",
 111, 121, 131, 221 y 231, en este intervalo se perforó sin pro--
 blemas de agujero con densidad máxima de 1.84 hgr./cc., la prue-
 ba de admisión aportó un valor de 1.93 gr./cc. (Tabla No. 3).

La formulación para preparar un m³ de fluido I.M.P.-E.I.es:

MATERIALES	RELACION	F U N C I O N
DIESEL:	616 LTS.	FASE EXTERNA DEL FLUIDO
I.M.P.-E.I.-1A	30 LTS.	EMULSIFICANTE PRINCIPAL, -- AGENTE TENSOACTIVO.
I.M.P.-E.I.-2	90 LTS.	EMULSIFICANTE SECUNDARIO DE TIPO ASFALTICO.
SAMULERA DE Ca C12	300 LTS.	ES UN MATEIRAL HIGROSCOPICO, SOLUBLE EN AGUA.
I.M.P.-E.I.-3	3 KGS.	ARCILLA ORGANOFILICA.

Tomando en cuenta las formaciones a perforar, se requiere - el equipo auxiliar: vibrador de alta velocidad, doble maya y eliminador de sólidos.

DESARROLLO DE LA PRUEBA:

La preparación del lodo en cuestión se inició el 15 de fe--brero de 1982, (200 m², a bordo del Barco Saturno del Golfo, ope ración que duró 12.30 hrs.).

1.30 gr./cc. Viscosidad 65 seg. y con T.R. 13 3/8, cementa da a 1598.80 m., se perforó zapata con barrena de 12 1/4" y comen zó la perforación con dicho lodo hasta 1630m. donde efectuó la - prueba de admisión con 105 kg/cm²., dando una densidad equivalen te de 1.93 gr./cc. sin admitir fluido la formación.

Es necesario mencionar que la Plataforma donde se aplicó el sistema I.M.P. EI, fue la POL "A" y que el pozo a prueba es verti cal.

Los record de barrenas y características de fluidos se pre--sentan en las tablas No. 4 y 5, así como también los datos de co lumna Geológica, calibración de agujero y la evaluación de costo por metro perforado. (tablas 6, 7 y 8).

A la profundidad de 2073 m., se suspendió (49:30 hrs.) por - haber proporcionado el personal del I.M.P., un tratamiento inco rrecto.

A la profundidad de 2630 m. a 2634 m. se observó pérdida parcial de 12 m^3 , causada por malas condiciones del fluido (observe la siguiente tabla), después de controlar las características -- del sistema I.M.P.-E.I, se continuó trabajando con la misma densidad de 1.84 gr./cc.

CARACTERISTICAS	UNIDAD	ANTES	DESPUES
DENSIDAD	gr./cc.	1.84	1.84
VISCOSIDAD	seg.	200	83
FILTRADO	c.c.	4. con agua	3
SALINIDAD	p.p.m.	140.000	315.000
VISC. APARENTE	c.p.s.	Fuera Esc.	72
VISC. PLASTICA	c.p.s.	Fuera Esc.	63
PUNTO CEDENTE	lb/100 Pie ²	Fuera Esc.	18
GELES	lb/100 Pie ²	Fuera Esc.	4-16
SOLIDOS	%	36	34
AGUA	%	17	20
ACEITE	%	47	46
RELACION	ac/ag.	73/27	70/30
DUCCION	Volts.	380	300

El empleo constante del eliminador de sólidos, fue de vital importancia, a pesar de no haber mantenido el porcentaje (30) -- aceptable, por la densidad (1.84 gr./cc.) de trabajo.

Después de controlar las características del fluido IMP-EI, se continuó perforando hasta alcanzar la profundidad de 3652 m.,

donde se circuló y acondicionó el fluido para tomar los registros de densidad o introducir la T.R. de 9 5/8" quedando a 3648 m.

La participación del personal de Pemex fue siempre constante, ya que se tuvo durante la perforación de la etapa de 12 1/4" a dos I.T.F.(s) por turno (12 hrs.) y un I.T.P. (Coordinador) -- con experiencia en fluidos de Emulsión Inversa.

CONCLUSIONES:

De acuerdo con el desarrollo anteriormente detallado, se -- concluye que el sistema a pesar de haber tenido problemas en las características por un tratamiento inadecuado, cumplió con el ob jetivo para los cuales fué diseñado.

Se usaron en total, en el intervalo perforado: 1600 m. a - 3652 m. (2051 m.).

T A B L A No. 4

1	BARRENA	12 1/4"	TIPO 121	(187m.)
2	BARRENAS	12 1/4"	TIPO 111	(686m.)
3	BARRENAS	12 1/4"	TIPO 131	(1035 m.)
2	BARRENAS	12 1/4"	TIPO 221	(115 m.)
1	BARRENA	12 1/4"	TIPO 231	(29 m.)

Los avances se consideran efectivos, aún con la utilización de tipos de barrenas inadecuadas que dependan de la formación que se perforan en este Distrito.

El costo por metro cúbico del sistema IMP-EI, es elevado de acuerdo a la siguiente tabla comparativa:

T A B L A No. 4

P O Z O	POL - 79	IXTOC 1-B*	ABK-275	ABK-211
TIPO DE LODO	IMP-EI	DRILEX	CLKE-P	CLSE
COSTO DE MATERIAL QUIM.	9'729,810.00	7'160,370.50	8'568,359.00	5'099,548.00
INTERVALO: (M):	2052	1735	1 843.00	1 832.75
COSTO POR METRO (M.N.).	3,708.28	4,127.05	4,649.13	2,782.45

* El costo está actualizado al año de 1982.

Es necesario contar con personal especializado y con experiencia (campo) en Emulsiones Inversas a fin de evitar el descontrol mencionado en este tipo de fluido.

RECOMENDACIONES:

Con el objeto de evitar la extrema vigilancia del fluido, es necesario que se estudien y se consigan productos humectantes y dispersantes, a fin de estabilizar y controlar las características reológicas.

Se sugiere probar el sistema IMP-EI, en zonas problemas con flujo de agua salobre y gasificaciones de CO2 y H2S.

Consideramos que en el futuro, cualquier casa comercial que proponga un sistema de fluido (Diseñado para el Area Marina) deberá de atenderlo un personal de mayor experiencia de campo.

T A B L A N o . 1

PROGRAMA DE T.R.

<u>DIAMETRO PULGADA</u>	<u>PROFUNDIDAD PROGRAMADA</u>	<u>(M) REAL</u>
30	131	115
20	500	506
13 3/8	1600	1598
9 5/8	3700	3648
7"	3820	3896
AGUJ 5 7/8"	4020	4020

T A B L A No. 3TIEMPOS EFECTIVOS DURANTE LA PERFORACION - ETAPA 12 1/4"

<u>OPERACION :</u>	<u>HORAS EFECTIVAS:</u>	<u>% TIEMPO APLICADO:</u>
PREPARANDO:	12:30 HRS.	1.33 %
PERFORANDO:	314:30 HRS.	33.43 %
ACOND. Y CIRC. LODO:	132:30 HRS.	14.00 %
ESP.MAT. QUIMICO:	44:00 HRS.	4.67 %
REPARA BOMBAS:	115:00 HRS.	12.22 %
VIAJES CORTOS Y CBOS DE BNA.	119:00 HRS.	12.65 %
OF. VARIAS:	203:00 HRS.	21.58 %

T A B L A N o . 2DENSIDAD CALCULADA CON LOS REGISTROS Y REAL.

PROFUNDIDAD (M).	DENSIDAD		(gr. /cc.)
	PROG.:		REAL.:
130 - 500	1.06	A 1.10	1.03
500 - 1600	1.10	A 1.35	1.40
3600 - 3700	1.35	A 1.90	150 - 1.84
3700 - 3820	1.20		1.08

T A B L A No. 6C O L U M N A G E O L O G I C A

<u>LITOLOGIA:</u>	P R O F U N D I D A D	
	PROG.:	REAL:
RECIENTE PLEISTOCENO	F.M.	F.M.
MIOCENO SUPERIOR	620	600
MICENO MEDIO	2325	1800
MOICENO INFERIOR	2830	2800
OLIGOCENO SUPERIOR	3000	3000
OLIGOCENO MEDIO	3040	3075
OLIGOCENO INFERIOR	3070	3145
ROCENO MEDIO	3240	3195
BOCENO INFERIOR	3320	3285
PALEOCENO SUPERIOR	3640	3585
BRECHA DE PALEOCENO	3750	3670
CRETACICO	3803	----
DOLOMIAS	3825	----

T A B L A No. 7

CALIBRACION DEL AGUJERO

BARRENA 12 1/4"

<u>INTERVALO</u>	<u>DIAMETRO</u>
1600 - 1700	PROM.- 16.50 PULG.
1700 - 1900	PROM.- 15.00 PULG.
1900 - 2100	PROM.- 15.00 PULG.
2100 - 2300	PROM.- 16.50 PULG.
2300 - 2500	PROM.- 14.00 PULG.
2500 - 2700	PROM.- 13.00 PULG.
2700 - 2900	PROM.- 12.50 PULG.
2900 - 3100	PROM.- 13.25 PULG.
3100 - 3300	PROM.- 12.75 PULG.
3300 - 3500	PROM.- 13.25 PULG.
3500 - 3700	PROM.- 12.75 PULG.

T A B L A N o . 8POZO POL 79: PLATAFORMA POL "A" EQUIPO: 4037, ETAPA 12 1/4"INTERVALO 1600 A 3652 M.CONSUMO DE MATERIALES QUIMICOS FLUIDOS I.M.P.- E1.

<u>MATERIALES</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>CANTIDAD</u>		<u>COSTOS M.N.</u>
		<u>SACOS</u>	<u>TON.</u>	
BARITA (A GRANEL)	SACO =	20500	1025.00	3'773,414.00
I.M.P.-EI	TAMB.208 LTS.	118	24.54	1'595,100.00
I.M.P.-2	SACO =	1880	47.00	1'010,500.00
I.M.P.-3-A	SACO =	160	4.00	400,000.00
DRILOX	SACO =	90	2.25	12,937.00
COLORURO DE CALCIO	SACO =	1389	63.13	574,483.00
DIESEL	1 M ³ =1000 LTS.	357 M ³	357.00	285,600.00
AGUA DE PERF'N.	1 M ³ =1000 LTS.	85 M ³	85.00	39,440.00

COSTO GENERADO EN LA ETAPA 12 1/4": 7'691,474.00

INTERVALO PERFORADO: 2052 MTS.

COSTO POR METRO: 3,748.78

IV. HIDRAULICA DE LA PERFORACION ROTARIA

La hidráulica se ocupa de los efectos interrelacionados de la viscosidad, el caudal y las presiones de circulación sobre el desempeño del lodo de perforación en sus varias funciones. Lamentablemente, las propiedades del flujo que serían ideales para -- cumplir con una función son frecuentemente perjudiciales para -- otra, por lo tanto, las propiedades seleccionadas deben representar una igualdad entre ellas.

El lodo debe ser suficientemente viscoso para suspender la barita y los recortes ocasionados por la barrena y de flujo rápido en el espacio anular como para proveer una adecuada limpieza -- del pozo. De lo contrario, el material sólido se acumulará en el espacio anular causando aumento de torsión, de arrastre, y aumento de presión hidrostática. Entre las posibles consecuencias pueden señalarse: la falla de la tubería, tubería aprisionada, velocidades de penetración reducidas y pérdidas de circulación. Se -- puede utilizar agua como fluido pero se requiere de suficiente velocidad, para llevar los recortes a la superficie, sin embargo, -- las velocidades requeridas producirán turbulencia. El flujo turbulento en el espacio anular puede tener efectos indeseables, tales como: el lavado del pozo, altas presiones de circulación y una mayor invasión del filtrado hacia las zonas permeables.

La remoción de los recortes del pozo requiere, lógicamente, que el fluido esté circulando, durante la circulación el flujo --

ejerce una presión en exceso de su presión hidrostática, este -- exceso no puede servir de base para evitar brotes o surgencias, -- puesto que no existe, cuando el lodo no está circulando. Sin em-- bargo, si la presión es demasiado alta se producirá pérdida de -- circulación. Por lo tanto, el exceso de presión que tiene lugar en el espacio anular durante la circulación debe mantenerse en valo-- res mínimos. Esto se logra manteniendo la velocidad de corte baja, lo que significa que las viscosidades y las velocidades deben tam-- bién ser menores, ocasionando que los efectos de sobre presión y pistoneo se disminuyen por efecto de las mínimas viscosidades, -- disminuyendo las velocidades de subida y descenso de la tubería.

Otro factor afectado por la hidráulica, es la velocidad de -- penetración, la más importante de las propiedades del lodo que in-- fluye sobre la velocidad de penetración, es la densidad del lodo (versus la presión de la formación en el fondo del pozo). Sin em-- bargo, una baja viscosidad del lodo en combinación con el gasto y una elevada pérdida de presión a través de la barrena, mejoran -- las velocidades de penetración.

ECUACION HIDRAULICA GENERALIZADA

La siguiente es la ecuación reológica generalizada.

$$F = F_0 + KR^n$$

Donde:

F = Lectura (del dial) del viscosímetro FANN VG, en lb/100 pies².

F₀ = Parámetro determinado por la elección del modelo, en lb/100 -- pies².

K = Factor de consistencia laminar, en lb/pies² rpmⁿ.

R = Velocidad rotatoria del FANN en rpm.

n = Indice del comportamiento del flujo laminar, adimensional.

Una definición apropiada del parámetro Fo hace que la ecuación reológica generalizada se reduzca a los modelos previamente descritos. El procedimiento para realizarlo es el siguiente:

1.- Modelo Plástico de Bingham.

Fo = YP (el punto de cedencia)

$$F = YP + \frac{PV}{300} R$$

2.- Ley Exponencial.

Fo = 0

$$F = KR^n$$

3.- Ley Exponencial Modificada.

Fo = Go, el "Gel Cero"

$$F = GO + KR^n$$

Debe recordarse que en la lectura de un viscosímetro VG de - dos velocidades; Go, es la lectura de la resistencia del Gel toma da inmediatamente después de que el fluido ha sido bien agitado y que han transcurrido idealmente "cero" segundos después de la agi tación o corte y antes de hacer la lectura.

Los valores numéricos obtenidos por los procedimientos des-- critos en este capítulo dependen del modelo reológico elegido. La 1a. etapa es elegir el modelo, de ahí en adelante, Fo debe ser in

terpretado de acuerdo con esa elección.

La ley exponencial modificada es una elección adecuada para cualquier lodo. Sin embargo, si debe hacerse una elección entre el modelo plástico de Bingham y la ley exponencial, una medición del Gel cero, G_0 , puede servir de ayuda, si G_0 está más cerca del punto de cedencia que de cero, entonces el modelo plástico de Bingham es preferible, de lo contrario, la ley exponencial es probablemente la mejor elección. Si se dispone de un viscosímetro VG - de múltiples velocidades debe utilizarse el modelo que mejor se adapta a los datos obtenidos.

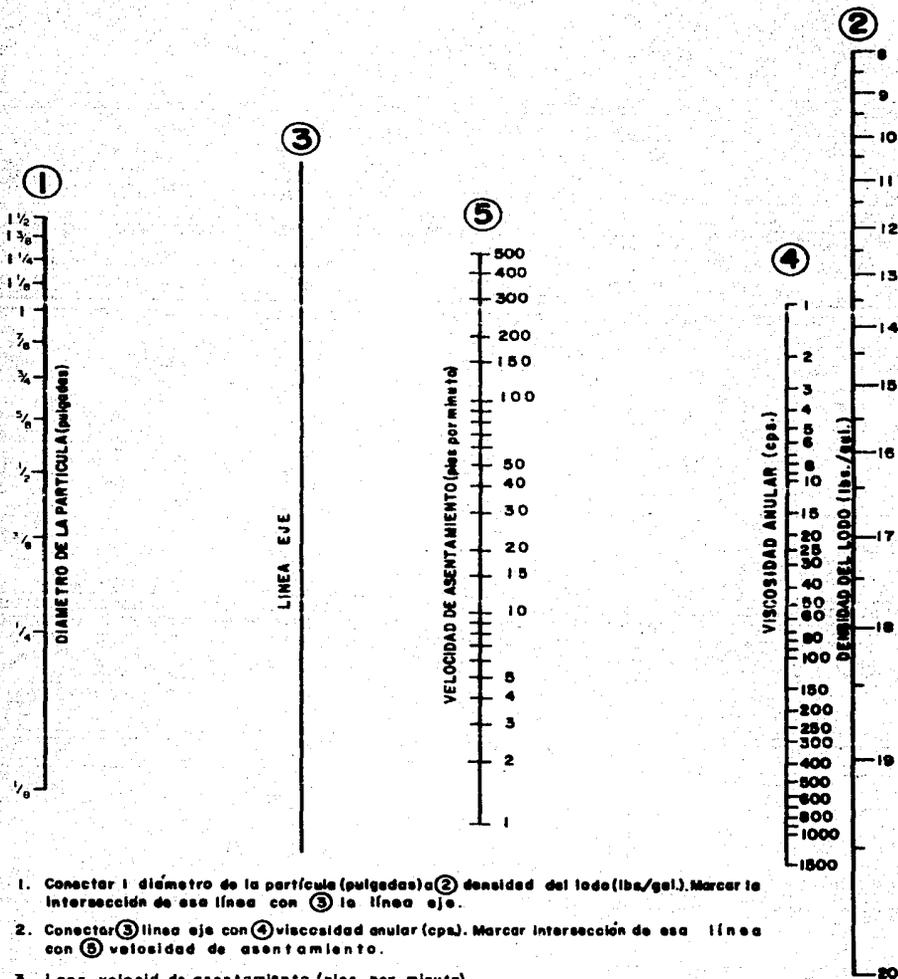
Los procedimientos descritos en este capítulo todavía requieren, sin embargo, lecturas del viscosímetro Fann a 600 y 300 rpm.

GRAFICACION DEL MODELO REOLOGICO

Las técnicas gráficas simplifican los cálculos hidráulicos.

La graficación del reograma (esfuerzo de corte vs. velocidad de corte) sobre coordenadas log-log es fundamental para este enfoque. El procedimiento es el siguiente:

1. Obtener las lecturas del viscosímetro Fann VG.
2. Seleccionar un modelo reológico y especificar el parámetro F_0 .
3. Computar o calcular $F_{600} - F_0$.
4. Graficar $F_{600} - F_0$ a 600 rpm. y $F_{300} - F_0$ a 300 rpm. Dibujar una línea recta que pase por ambas partes. Esta línea indique (Fig. 1).



1. Conectar 1 diámetro de la partícula (pulgadas) a ② densidad del lodo (lbs./gal.). Marcar la intersección de esa línea con ③ la línea eje.
2. Conectar ③ línea eje con ④ viscosidad anular (cps.). Marcar intersección de esa línea con ⑤ velocidad de asentamiento.
3. Leer velocidad de asentamiento (pies por minuto).

Desarrollado partiendo de Moore, Drilling Practices Manual.
$$V_s = \frac{175d(21-W)^{0.667}}{W^{0.323} \mu^{0.333}}$$

Fig. 4 Nomograma de velocidad de asentamiento

5. Seleccionar unos cuantos puntos convenientes en la línea índice, añadir F_0 a cada uno de ellos y graficar los puntos correspondientes. Utilice suficientes puntos para describir adecuadamente una curva uniforme (Fig.2).
6. Dibujar una curva uniforme que pase por esos puntos. El resultado es el reograma, la relación, "esfuerzo de corte-velocidad de corte" para el fluido, según se predice por el modelo (Fig.3), conviene hacer notar que, para la ley exponencial, la línea índice y el reograma coinciden (puesto que en ese caso $F_0 = 0$).

DETERMINACION DE n Y DE K.

Los valores de n y de K pueden determinarse una vez que se han seleccionado el modelo reológico, geoméricamente, n es la pendiente y K el punto de intersección de la línea índice sobre el gráfico log-log del modelo. Estos valores pueden obtenerse con mayor facilidad y precisión mediante el empleo de las tablas Nos. 1 y 2.

Para encontrar n , primero se calcula la siguiente relación o razón:

$$\text{Razón} = \frac{F_{600} - F_0}{F_{300} - F_0}$$

DETERMINACION n UTILIZANDO LA TABLA No. 1

El índice n (comportamiento del flujo laminar) carece de dimensiones, no tiene dimensiones físicas.

Procedemos a calcular el factor de consistencia laminar K mediante la Tabla No. 2 y la fórmula:

$$K = (F_{300} - F_0) C$$

Tabla I

TABLA PARA ENCONTRAR LOS VALORES DE n

Razón	n	Razón	n	Razón	n
2,00	1,00	1,89	,76	1,43	,52
1,99	,99	1,88	,75	1,42	,51
1,97	,98	1,87	,74	1,41	,50
1,96	,97	1,86	,73	1,40	,49
1,95	,96	1,85	,72	1,40	,48
1,93	,95	1,84	,71	1,39	,47
1,92	,94	1,82	,70	1,38	,46
1,91	,93	1,81	,69	1,37	,45
1,89	,92	1,80	,68	1,36	,44
1,88	,91	1,79	,67	1,36	,43
1,87	,90	1,78	,66	1,34	,42
1,85	,89	1,57	,65	1,33	,41
1,84	,88	1,56	,64	1,32	,40
1,83	,87	1,55	,63	1,31	,39
1,82	,86	1,54	,62	1,30	,38
1,80	,85	1,53	,61	1,29	,37
1,79	,84	1,52	,60	1,28	,36
1,78	,83	1,51	,59	1,27	,35
1,77	,82	1,50	,58	1,27	,34
1,75	,81	1,48	,57	1,26	,33
1,74	,80	1,47	,56	1,25	,32
1,73	,79	1,46	,55	1,24	,31
1,72	,78	1,45	,54	1,23	,30
1,71	,77	1,44	,53		

Tabla 2

TABLA AUXILIAR PARA
ENCONTRAR LOS VALORES DE K

n	C ₁	C ₂	C ₃	n	C ₁	C ₂	C ₃
1,00	,0033	,0020	,0094	,54	,0280	,0181	,0864
,99	,0035	,0021	,0100	,53	,0275	,0182	,0819
,98	,0037	,0022	,0106	,52	,0291	,0204	,0978
,97	,0040	,0024	,0113	,51	,0308	,0218	,1040
,96	,0042	,0025	,0120	,50	,0326	,0231	,1106
,95	,0044	,0027	,0128	,59	,0346	,0245	,1177
,94	,0047	,0028	,0135	,58	,0366	,0262	,1252
,93	,0050	,0030	,0145	,57	,0387	,0278	,1332
,92	,0053	,0032	,0153	,56	,0410	,0296	,1417
,91	,0056	,0034	,0163	,55	,0434	,0315	,1506
,90	,0059	,0037	,0174	,54	,0460	,0335	,1602
,89	,0062	,0039	,0185	,53	,0487	,0366	,1704
,88	,0066	,0041	,0196	,52	,0515	,0379	,1813
,87	,0070	,0044	,0208	,51	,0545	,0403	,1929
,86	,0074	,0047	,0222	,50	,0577	,0428	,2052
,85	,0078	,0050	,0237	,49	,0611	,0456	,2182
,84	,0083	,0052	,0251	,48	,0647	,0485	,2321
,83	,0088	,0056	,0267	,47	,0685	,0515	,2469
,82	,0093	,0059	,0284	,46	,0725	,0549	,2625
,81	,0099	,0063	,0302	,45	,0768	,0583	,2794
,80	,0104	,0067	,0322	,44	,0813	,0621	,2971
,79	,0110	,0072	,0342	,43	,0861	,0661	,3161
,78	,0117	,0078	,0364	,42	,0911	,0705	,3362
,77	,0124	,0081	,0387	,41	,0965	,0747	,3576
,76	,0131	,0086	,0412	,40	,1021	,0794	,3804
,75	,0139	,0092	,0438	,39	,1081	,0845	,4046
,74	,0147	,0097	,0466	,38	,1145	,0899	,4304
,73	,0155	,0103	,0496	,37	,1212	,0956	,4578
,72	,0165	,0110	,0527	,36	,1283	,1017	,4869
,71	,0174	,0117	,0561	,35	,1358	,1082	,5180
,70	,0185	,0125	,0596	,34	,1438	,1151	,5510
,69	,0195	,0132	,0635	,33	,1522	,1224	,5861
,68	,0207	,0141	,0675	,32	,1612	,1302	,6235
,67	,0219	,0150	,0719	,31	,1706	,1386	,6633
,66	,0232	,0159	,0764	,30	,1807	,1474	,7055
,65	,0245	,0170	,0813				

Donde C es una constante en unidades, que se encuentra en la Tabla No. 2 a diferencia de n, K tiene unidades físicas; úsese.

$C = C_1$ para unidades Fann ($\text{lb}/100 \text{ pies}^2 - \text{rpm}^n$).

$C = C_2$ para unidades de campo ($\text{lb}\text{-seg}^n/100 \text{ pies}^2$).

$C = C_3$ para unidades métricas ($\text{dinas}\text{-seg}^n/\text{cm}^2$).

Las unidades de campo son las de uso más frecuente, pero las unidades Fann son preferibles. Lógicamente n y K tendrán diferentes valores numéricos para los diferentes modelos. Por esta razón, es importante que al mencionar los valores de n y K se haga referencia al modelo elegido. Se pueden utilizar estas tres reglas generales.

1. Para el modelo plástico de Bingham, $n = 1$ y $K = PV/300$.
2. El n de la ley exponencial es siempre inferior al n de la ley exponencial modificada.
3. El valor de K para la ley exponencial es siempre más alto que el valor de K para la ley exponencial modificada.

Ejemplo Práctico:

Supóngase que tenemos las siguientes lecturas:

$$F_{600} = 45$$

$$F_{300} = 28$$

Para la Ley Exponencial tenemos:

$$\text{Razón} = \frac{45 - 0}{28 - 0} = \frac{45}{28} = 1.61$$

Refiriéndose a la Tabla No. 1 tenemos que el valor de n para la Ley Exponencial es 0.69.

Para la Ley Exponencial Modificada.

$$\text{Razón} = \frac{45 - 5}{28 - 5} = \frac{40}{23} = 1.74$$

Buscando ahora en la Tabla No. 1, tenemos que el valor de n para la Ley Exponencial Modificada es 0.80.

Procedemos a calcular: $K = (F_{300} - F_0) C$

Para el cálculo use $C = C_1$ si quiere tener K en unidades -- Fann.

$C = C_2$ para K en unidades de campo, $C = C_3$ si quiere K en -- unidades métricas.

Supongamos los Valores:

$$F_{600} = 45$$

$$F_{300} = 28$$

$$F_0 = 5$$

Para la Ley Exponencial modificada tenemos $F_0=5$ y encontramos $n=0.80$ (de la Tabla No. 1).

Refiriéndonos ahora a la Tabla No. 2 vemos que:

$$C_1 = 0.0104,$$

$$C_2 = 0.0067,$$

$$C_3 = 0.0322$$

Por lo tanto:

$$K = (28 - 5) (0.0104) = 23 \times 0.0104 = 0.24 \text{ lb/100 pie}^2 \text{ rpm}^n \text{ (unidades Fann).}$$

$$K = (28 - 5) (0.0067) = 23 \times 0.0067 = 0.15 \text{ lb-seg}^n/100 \text{ pie}^2 \text{ (unidades de campo).}$$

$$K = (28 - 5) (0.0322) = 23 \times 0.0322 = 0.74 \text{ dinas-seg}^n/\text{cm}^2. \text{ (unidades métricas).}$$

Relación entre velocidad de corte y velocidad Fann.

El reograma descrito previamente muestra como la tensión de corte (lectura del dial del Fann) es afectada por la velocidad de corte (velocidad rotaria del viscosímetro Fann). Para que se pueda continuar con los cálculos hidráulicos se debe relacionar la velocidad real de corte en el pozo con los datos del Fann obtenidos del lodo a la misma velocidad que en el pozo. Esta relación puede calcularse fácilmente por medio de la siguiente ecuación: $R = \frac{BV}{D}$

Donde:

R = Velocidad del Fann equivalente en rpm.

V = Velocidad promedio en pies por minuto.

D = Diámetro hidráulico (en pg).

B = Parámetro geométrico que se halla en la Tabla No. 3.

La ecuación recién expresada es válida en su forma general, tanto para el flujo en tubería (ejemplo, dentro de la sarta) como para el flujo en espacios anulares (ejemplo, entre la sarta y el pozo o el revestimiento), se restringirá en este trabajo su uso - al flujo en el espacio anular, el parámetro geométrico B (para el espacio anular) se encuentra en la Tabla No. 3; siendo V la velocidad anular y D el diámetro del pozo (o el diámetro interno del revestimiento) menos el diámetro externo de la tubería de perforación.

El espacio anular consiste de varias secciones, cada una de las cuales tiene (o por lo menos así se suponen) un diámetro hidráulico constante. Por ejemplo una sección consiste en la región entre la sarta y el revestimiento, otra puede estar comprendida entre el pozo y los lastra barrenas. La presencia de tuberías cortas (liners) o de una sarta de diámetro decreciente, produce -- otras secciones adicionales, las diferentes secciones, junto con sus dimensiones físicas constituyen la "geometría del espacio anular".

En los cálculos hidráulicos es necesario considerar las diversas secciones del espacio anular separadamente, una por una, porque las propiedades del flujo pueden ser diferentes de una sección a otra. Una de estas propiedades es la velocidad anular. Dado que el fluido fluye más rápidamente en las secciones más estrechas que en las más anchas, la velocidad anular se refiere a la velocidad del fluido dentro de una sección particular del espacio anular.

A diferencia de la velocidad, el gasto es una constante para el sistema. Durante un intervalo de tiempo dado, el mismo volumen de fluido pasa a través de las boquillas o toberas de la barrena que a través de cualquier geometría del pozo, sin embargo, las velocidades de este caudal constante, varían de sección puesto que las diferentes secciones tienen capacidades diferentes.

VISCOSIDAD EN EL ESPACIO ANULAR.

Tomando en cuenta que los lodos son fluidos que reducen su -

viscosidad con el corte, agitación o cizallamiento. A bajas velocidades de corte su viscosidad es más alta que las altas velocidades de corte. La viscosidad del lodo en el espacio anular necesariamente varía de sección a sección, variando a través del diámetro de las secciones individuales. A pesar de ello con la expresión siguiente se provee un número para definir la viscosidad de una manera que constituye una excelente guía para fines de campo:

$$M = \frac{UF}{R}$$

Donde:

M = Viscosidad anular en cps.

U = Constante (obtenida de la Tabla No. 3).

F = Lectura del dial del Fann, en lb/100 pie².

R = Velocidad del Fann equivalente, en rpm.

F se determina partiendo del Reograma para el valor particular de R aquí relacionamos el esfuerzo de corte en el pozo con los datos del Fann.

La constante U incorpora un factor de correlación entre el flujo en el anular y la velocidad de rotación del Fann. Las complejidades de la Ley Exponencial y de la Ley Exponencial Modificada indican la necesidad de un reograma para calcular la viscosidad anular. La relativa simplicidad del modelo plástico de Bingham permite, sin embargo, el empleo de la siguiente fórmula sin necesidad de un reograma:

$$M = 213 \frac{(YP)(D)}{v} + PV$$

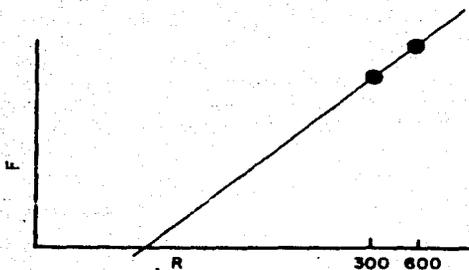


Fig. 1. Graficando la línea índice

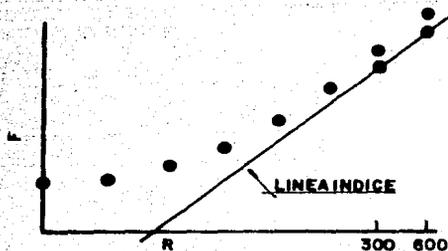


Fig. 2. Sumando F_0 a algunos puntos de la línea índice

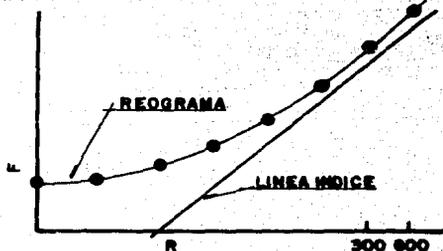


Fig. 3. Delineando el Reograma (Gráfico del modelo)

Tabla 3

TABLA PARA ENCONTRAR LOS VALORES DE B Y U

n	B	B	U	n	B	B	U
1,00	1,41	0,94	300	,64	1,61	1,03	269
,99	1,41	0,94	300	,63	1,62	1,04	269
,98	1,42	0,94	300	,62	1,63	1,04	269
,97	1,42	0,94	299	,61	1,64	1,05	268
,96	1,42	0,95	299	,60	1,65	1,05	267
,95	1,43	0,95	299	,59	1,66	1,05	267
,94	1,43	0,95	299	,58	1,67	1,06	266
,93	1,44	0,95	299	,57	1,68	1,06	266
,92	1,44	0,95	298	,56	1,69	1,07	265
,91	1,45	0,96	298	,55	1,70	1,07	265
,90	1,45	0,96	298	,54	1,71	1,08	264
,89	1,45	0,96	298	,53	1,72	1,08	264
,88	1,46	0,96	297	,52	1,74	1,09	263
,87	1,46	0,96	297	,51	1,75	1,10	262
,86	1,47	0,97	297	,50	1,76	1,10	262
,85	1,47	0,97	297	,49	1,78	1,11	261
,84	1,48	0,97	296	,48	1,79	1,11	260
,83	1,48	0,97	296	,47	1,80	1,12	279
,82	1,49	0,98	296	,46	1,82	1,13	278
,81	1,49	0,98	296	,45	1,83	1,13	278
,80	1,50	0,98	295	,44	1,85	1,14	277
,79	1,50	0,98	295	,43	1,87	1,15	276
,78	1,51	0,99	295	,42	1,88	1,16	275
,77	1,52	0,99	294	,41	1,90	1,17	274
,76	1,52	0,99	294	,40	1,92	1,17	273
,75	1,53	1,00	294	,39	1,94	1,18	272
,74	1,54	1,00	293	,38	1,96	1,19	271
,73	1,54	1,00	293	,37	1,98	1,20	269
,72	1,55	1,00	293	,36	2,01	1,21	268
,71	1,56	1,01	292	,35	2,03	1,22	267
,70	1,57	1,01	292	,34	2,06	1,23	265
,69	1,57	1,02	291	,33	2,08	1,25	264
,68	1,58	1,02	291	,32	2,11	1,26	262
,67	1,59	1,02	290	,31	2,13	1,27	261
,66	1,60	1,03	290	,30	2,16	1,28	259
,65	1,60	1,03	290				

Tabla 4

GUIA PARA LOS GASTOS MÍNIMOS PARA LA
CAPACIDAD DE LEVANTAMIENTO

TAMAÑO DEL POZO	CAUDAL	
(pulg)	(bpm)	(gpm)
6 1/2	3,1	130
7 1/8	5,2	220
8 1/4	6,4	270
9 7/8	8,1	340
10 5/8	9,5	400
12 1/4	12,0	480
15	15,0	640
17 1/2	19,0	815
18 1/2	21,0	880
26	32,0	1.350

Esta fórmula es solo válida para el modelo plástico de Bingham en el anular.

CAPACIDAD DE LEVANTAMIENTO

(Limpieza del Pozo)

Los recortes son más pesados que el lodo. Por lo tanto, mientras los recortes (y los desmoronamientos o derrumbes) son levantados por el lodo que fluye por el anular, están sometidos al mismo tiempo a la fuerza de gravedad que tiende a provocar su caída hacia el fondo del pozo. La velocidad a la cual caen en medio del lodo ascendente, recibe el nombre de Velocidad de Asentamiento. Depende principalmente de la densidad y la viscosidad del lodo y del tamaño, forma y densidad de los recortes. la velocidad de levantamiento de los recortes es la velocidad a la que los recortes son en la realidad llevados hacia arriba en el espacio anular.

La capacidad de levantamiento de los recortes es la velocidad a la que los recortes son en la realidad llevados hacia arriba en el espacio anular. La capacidad de levantamiento es una medida relativa de la capacidad del lodo para limpiar el pozo.

Debido al número de variables involucrados en la estimación de la capacidad de levantamiento, resulta útil pensar en términos de velocidad anular o de caudal a modo de guía. La Tabla No. 4 -- sirve para establecer los caudales mínimos consistentes con una adecuada limpieza del pozo.

Los números son promedios basados en las prácticas corrientes de perforación en varias áreas del mundo. Se deben de tomar como una guía o punto de partida. Con combinaciones típicas de tuberías de perforación, los caudales producen velocidades anulares de 36 a 24 m/min. en pozos de un diámetro inferior a 12 1/4" y velocidades anulares de 24 a 15 pies por minuto en pozos de 12 1/4" a 26" de diámetro.

Un método más cuantitativo consiste en calcular la capacidad de levantamiento. La sección de mayor diámetro hidráulico del anular (a menudo una zona lavada) es de la máxima importancia puesto que allí la capacidad de levantamiento alcanza sus valores mínimos.

La primera etapa es calcular la velocidad de asentamiento, se han propuesto para ello varias ecuaciones, siendo la siguiente la más consistente dado la mayor parte de los datos disponibles.

$$V_s = \frac{175 d (21-W)^{0.667}}{W^{0.333} M^{0.333}}$$

Donde:

V_s = Velocidad de asentamiento en pies por minuto.

d = Diámetro promedio de los recortes.

W = Densidad del lodo en ppg.

M = Viscosidad anular, en cps.

La aplicación directa de esta fórmula es difícil, pero su empleo se ve grandemente simplificado mediante el nomograma de

la Figura No. 4.

Cuanto mayor es la velocidad de asentamiento de los recortes, más difícil es limpiar el pozo. La densidad del lodo es usualmente determinada por otros factores. Por consiguiente la forma más práctica de reducir la velocidad de asentamiento es aumentar la viscosidad anular.

Dado que las velocidades de corte en el anular son bajas (menores al equivalente de 60 rpm), el punto de cedencia tiene un efecto mayor que el de la viscosidad plástica.

La velocidad de levantamiento de los recortes se obtiene restando la velocidad de asentamiento de la velocidad anular.

$$V_r = V - V_s$$

Donde:

V_r = Velocidad de levantamiento de los cortes, en pies por minuto.

V = Velocidad anular, en pies por minuto.

V_s = Velocidad de asentamiento de los recortes, en pies por minuto.

Un aumento de la velocidad anular reduce la viscosidad del lodo aumentando por tanto la velocidad de asentamiento. Sin embargo, en la mayoría de las situaciones, la velocidad de levantamiento de los recortes aumentará al aumentar la velocidad anular. Esto significa que el aumento en velocidad tiene un efecto mucho mayor que la reducción correspondiente de la viscosidad.

Si bien con altas velocidades anulares se mejora la limpieza del pozo, las velocidades excesivas producen efectos perjudiciales. Altas velocidades causan marcadas pérdidas de presión y tienen una tendencia a erosionar las paredes del pozo. Por lo cual - el remedio que se aplica más frecuentemente por una limpieza inadecuada de pozo es aumentar el punto de cedencia.

Los requerimientos de limpieza del pozo varían considerablemente en áreas diferentes, de modo que resulta útil correlacionar la capacidad de levantamiento con una relación de la velocidad de levantamiento de los recortes con la velocidad anular.

$$Lc = \frac{100 V_r}{V}$$

Donde:

Lc = Capacidad de levantamiento por ciento.

Vr = Velocidad de levantamiento de los recortes, en pies por minuto.

V = Velocidad anular, en pies por minuto.

La capacidad de levantamiento es un indicador de la habilidad del lodo por limpiar el pozo.

VELOCIDAD CRITICA.

Recordando la distinción entre flujo laminar y flujo turbulento. En el flujo laminar las partículas individuales del fluido se mueven en líneas rectas paralelas a la dirección del movimiento del fluido; en el flujo turbulento su movimiento es desordena-

do, dentro de la dirección general en la que el fluido se está moviendo. En general es indeseable el flujo turbulento en el anular. Es más erosivo que el flujo laminar y puede causar serios ensanchamientos de secciones del pozo que pueden dar por resultados -- acumulación de los recortes y dificultades en la evaluación de la formación. Se necesita una elevada presión de circulación para -- mantener el flujo turbulento en el anular, aún cuando la viscosidad del lodo, sea solo moderadamente alta. Esto reduce la presión disponible para la barrena (disminuyendo con ellos las velocidades de penetración) y puede causar pérdidas excesivas de presión (las que pueden dar como resultado pérdidas de circulación). La -- turbulencia tiende a promover elevadas velocidades de filtración, al remover el enjarre de las paredes.

Por todas estas razones es preferible evitar la turbulencia en el espacio anular.

La velocidad crítica depende no solamente de la densidad y -- de las propiedades reológicas del lodo, sino también del diámetro hidráulico de la sección. La sección más estrecha (las porta barrenas) tendrá la velocidad crítica más alta, sin embargo, debido a que la velocidad es habitualmente mucho mayor que en las secciones más grandes, el lodo entrará en turbulencia frente a los porta barrenas antes que en ninguna otra sección. Es posible tener -- flujo turbulento en ciertas secciones del anular y flujo laminar en otras secciones. Al fluir el lodo en descenso por la sarta es casi siempre turbulento debido al pequeño diámetro y a las altas velocidades.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Applied Mud Technology, 1974
I.M.C.O
- 2.- Apuntes Sobre Fluidos de Perforación,
Davalos E. Eliseo
- 3.- Baroid Mud Technology Handbook
Baroid Division NL Industries Inc.
P.O. Box 1675, Houston Texas 77001
- 4.- Compendio de fluidos de perforación
Subdirección de Capacitación
IMP
- 5.- Eckel R. J. "Technology - How mud and Hydraulics affect
drill rate", Esso Production Research CO.
- 6.- Frederick O. R. "Drilling.- Mud: a key factor in penetra-
tion rate"
September, 1987
- 7.- Lecciones sobre perforaciones rotatorias (Lodo de perfora-
ción)
Woodruff, John
IMP
- 8.- Primer congreso especialista en el control de fluidos de -
perforación.
Subdirección de tecnología de explotación
IMP
- 9.- Sistema de lodo de aceite 1978
IMCO Ken
- 10.- Tecnología aplicada de lodos
IMCO, Hallibarton Company
1964