

6

2. ej



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ingeniería

**EFECTO DE LA BARITA EN EL COMPORTAMIENTO
REOLOGICO DE FLUIDOS DE PERFORACION
BASE AGUA Y ACEITE**

T E S I S

**Que para obtener el Título de
INGENIERO PETROLERO**

Presentan:

JOSE LEANDRO ALONSO GARCIA

RAFAEL PEREZ HERNANDEZ

México, D. F.

1986



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA

Dirección
60-I-75

Señores ALONSO GARCIA JOSE LEANDRO Y
PEREZ HERNANDEZ RAFAEL.
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso la Prof. Quím.-Rosa de Jesús Hernández Álvarez, para que lo desarrollen como tesis para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO PETROLERO.

"EFECTO DE LA BARITA EN EL COMPORTAMIENTO REOLOGICO DE FLUIDOS DE PERFORACION BASE AGUA Y ACEITE"

- I PROPIEDADES FISICAS BASICAS DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION E IMPORTANCIA DE CADA UNA.
 - II MATERIALES DENSIFICANTES DE USO COMUN EN EL CAMPO, CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DE CADA UNO.
 - III CONDICIONES PARA SU APLICACION EN EL CAMPO.
 - IV ESPECIFICACIONES QUE DEBE CUMPLIR LA BARITA PARA SU APLICACION Y LIMITACIONES.
 - V MEDIOS FISICOS Y QUIMICOS PARA DISPERSAR LA BARITA Y REDUCIR SUS EFECTOS ADVERSOS.
 - VI FASE EXPERIMENTAL.
 - VII RESULTADOS.
 - VIII CONCLUSIONES.
- BIBLIOGRAFIA.

Ruego a ustedes se sirvan tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberán prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., Abril 23 de 1985

EL DIRECTOR

Dr. Octavio A. Rascón Chávez

I N D I C E

	Pag.
INTRODUCCION	1
I. PROPIEDADES FISICAS BASICAS DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION E IMPORTANCIA DE CADA UNA.	4
1. Densidad	4
2. Reología	7
3. Filtrado	21
II. MATERIALES DENSIFICANTES DE USO COMUN EN EL CAMPO, CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DE CADA UNO.	26
1. Dispersos	26
2. Solubles	35
III. CONDICIONES PARA SU APLICACION EN EL CAMPO.	37
IV. ESPECIFICACIONES QUE DEBE CUMPLIR LA BARITA PARA SU APLICACION.	42
V. MEDIOS FISICOS Y QUIMICOS PARA DISPERSAR LA BARITA Y REDUCIR SUS EFECTOS ADVERSOS.	44
1. Físicos	44
2. Químicos	48

VI.	FASE EXPERIMENTAL	51
VII.	RESULTADOS	64
VIII.	CONCLUSIONES	71
	BIBLIOGRAFIA	73

INTRODUCCION

Al inicio de la perforación rotaria, las funciones de los fluidos utilizados, se concretaron básicamente a transportar los recortes producidos por la barrena hasta la superficie, de esta época a la fecha, los yacimientos que se requieren explotar, se encuentran a mayores profundidades, por lo que representan serios problemas durante la perforación; por tal motivo, el fluido utilizado para perforar, debe reunir un mayor número de propiedades para poder cumplir con un número mayor de funciones. Esto nos lleva a la siguiente definición establecida por el API para un fluido de perforación:

Fluido de perforación: Es un fluido circulante, empleado en la perforación rotatoria para realizar las siguientes funciones:

- Transporte y acarreo de los recortes a la superficie.
- Enfriamiento y lubricación de la barrena y la sarta.
- Estabilidad de las paredes del agujero.
- Control de las presiones de la formación
- Transmisión de potencia hidráulica a la barrena.
- Ayuda en la toma de registros.
- Sustentación de la sarta de perforación, de revestimiento, etc.
- Optimizar los avances en la perforación.

La mayor parte de los lodos de perforación, pueden clasificarse como lodos base agua, comprendiendo a todos aquellos fluidos que tienen como fase - - continua el agua, estos lodos se componen de tres elementos principales:

- 1.- Agua, como fase continua.
- 2.- Arcillas, bentonita, como fase reactiva.
- 3.- Sólidos inertes o baritas, como densificantes.

Estos tres elementos, se pueden emulsionar con aceite, lo cual nos lleva a la formación de un nuevo lodo:

Emulsión de aceite en agua o directa: Es aquella cuya fase continua es el agua o un electrolito y la fase dispersa un aceite o una mezcla de - aceites.

Los fluidos base aceite o fluidos de emulsión inversa, son el resultado de la mezcla de dos fases no miscibles, aceite y agua y un agente emulsificante que tiene la propiedad de cambiar la tensión de las interfases, haciéndolas miscibles.

En este tipo de fluido, el aceite forma la fase continua y el agua, la fase dispersa.

Los fluidos de emulsión inversa, se componen esencialmente de: aceite, agua, agente estabilizador y material densificante. Como se mencionó en un principio, la extracción de los hidrocarburos se efectúa cada vez más a mayor - - profundidad, esto implica el utilizar durante la perforación, de lodos de mayor densidad para tener un mejor control del pozo perforado, en la composición de dichos lodos, interviene de manera importante la barita, este es un material que nos sirve para incrementar la densidad del lodo y es el que se utiliza con más frecuencia como agente densificante en la industria petrolera mexicana.

En el pasado, una variedad de materiales fueron usados como agentes densificantes tales como, sulfato de estroncio, óxido de hierro, sílice amorfo, - carbonato de calcio, arcillas nativas, etc.

La barita también es conocida como sulfato de bario o baritina. Es normalmente blanca con caras de roturas curvilíneas y se encuentra en depósitos de residuo con textura granular.

CAPITULO I

PROPIEDADES FISICAS BASICAS DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION E IMPORTANCIA DE CADA UNA.

Existen tres propiedades básicas en lodos de perforación que pueden ser controlados en alguna medida; estas tres propiedades fundamentales son:

- 1.- Densidad
- 2.- Reología
- 3.- Filtrado.

El control de la densidad es esencial para prevenir reventones y es también usado para el mantenimiento de una adecuada estabilidad del agujero. El -- control reológico es necesario para remover y acarrear los recortes generados durante la perforación. El control de la velocidad de filtrado es requerido para prevenir una excesiva acumulación de enjarre en las zonas permeables perforadas.

I.1 Densidad.

La determinación y el control de la densidad de los lodos, es esencial para el desempeño de algunas funciones básicas, tales como el evitar el flujo de fluidos indeseables al pozo y el de evitar derrumbes. También es necesario el valor de la densidad para poder efectuar cálculos hidráulicos, cálculos de contenido de diferentes clases de sólidos en el lodo, de consumo de materiales para aumentar o disminuir la densidad, etc.

La densidad, es la masa de una substancia dividida por su volumen. En el sistema métrico se da en gramos masa (gm) por centímetro cúbico (cc), - - gm/cc, en el sistema inglés, en libras masa (lbm) por pie cúbico (ft^3), - lbm/ ft^3 .

En el campo se emplean comunmente dos instrumentos para la determinación de la densidad del lodo, estos son la Balanza de Lodos y el Hidrómetro, - siendo la primera, la que se utiliza con más frecuencia.

Existen balanzas con diferentes cantidades y tipos de escalas de diversos rangos y capacidades, pero las más comunes, son las siguientes:

Balanzas con dos escalas de los siguientes rangos:

de 7.8 a 18.4 libras por galón, graduaciones de 0.1 lb/gal.

de 58 a 136 libras por pie³, graduaciones de 0.5 lb/pie³.

Otra balanza con 4 escalas con los siguientes rangos:

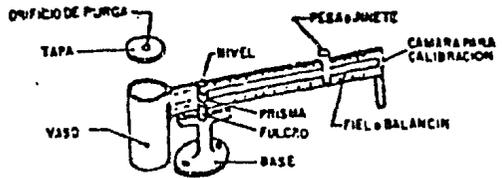
de 0.72 a 2.88 de peso específico, graduaciones de 0.01 unidades.

de 6 a 24 libras por galón, graduaciones de 0.1 lb/gal.

de 45 a 180 libras por pie cúbico, graduaciones de 0.5 lb/pie³.

Las partes de la balanza son:

- Copa o vaso
- Tapa
- Orificio de purga
- Base
- Nivel
- Balancín
- Prisma
- Pesa
- Fulcro
- Nivel de burbuja.



Procedimiento para el manejo de la balanza

- a) Coloque la balanza en una superficie lisa y nivelada
- b) Quite la tapa y llene totalmente la copa con el lodo que se va a pesar, no deben quedar burbujas de aire atrapadas en el lodo, para evitarlo, - se debe golpear ligeramente la copa hasta que éstas desaparezcan.
- c) Colocar la tapa firmemente sobre la copa, asegurándose que una parte del lodo salga por el orificio de purga.
- d) Limpiar el excedente del lodo en el exterior de la balanza.

- e) Colocar la balanza sobre su base, de manera que el prisma descansa - sobre el fulcro.
- f) Mover la pesa hasta balancear el instrumento, ayudándose con el nivel de burbuja.
- g) Lea el peso del lodo en el lado de la pesa más próximo al prisma.

I.2 Reología.

Reología es una rama de la ciencia que estudia la deformación de la materia, incluyendo el tipo de flujo, particularmente el flujo plástico de los sólidos y el flujo de los líquidos no newtonianos.

Las propiedades reológicas, viscosidad plástica (V_p), viscosidad aparente (V_a) y punto de cedencia (P_c) son valores muy significativos en el control de los fluidos base agua, no así en fluidos de emulsión inversa, ya que dichos valores se ven afectados por la viscosidad de los aceites utilizados, cantidad de agua presente y la temperatura, no obstante es recomendable - obtener estos valores como información necesaria, debiendo hacerse las lecturas a una temperatura aproximada de 50°C (122°F) o a la temperatura de - la línea de flujo del pozo.

Viscosidad: Es la medida de la resistencia interna de los líquidos o de los gases al flujo.

Si tenemos dos superficies paralelas en el seno de un fluido, separadas una distancia D por el mismo líquido y, a una de ellas de area A , se le aplica una fuerza tangencial F para producirle una velocidad relativa de una superficie respecto a otra, tal como se muestra en la Fig. 1, tenemos que la magnitud de esa fuerza, es directamente proporcional al area considerada y a la velocidad relativa de las superficies e inversamente proporcional a la distancia entre dichas superficies.

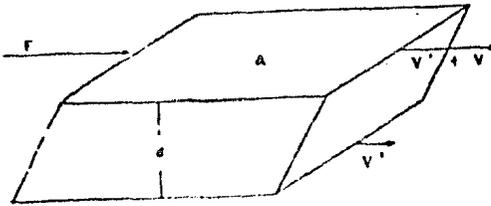


Fig. 1

Esto es:

$$F = \mu \frac{A v}{d}$$

En donde el coeficiente de proporcionalidad μ es la viscosidad, esta constante de proporcionalidad va a ser particular para cada tipo de fluido.

La unidad de viscosidad en el sistema cgs es el Poise y se define como la viscosidad de un líquido hipotético tal, que una fuerza tangencial de una dina, hace que dos superficies paralelas en el seno del líquido de un centímetro cuadrado de área y a un centímetro de distancia una de otra, se muevan a una velocidad relativa de un centímetro por segundo.

En la práctica se utiliza con más frecuencia la centésima parte del Poise, o sea, un CentiPoise. El agua tiene una viscosidad de 0.895 cps. a 25°C.

La viscosidad de los líquidos disminuye al aumentar la temperatura, un aumento de presión produce un aumento de viscosidad, aunque este efecto es más notable a presiones considerablemente altas.

La viscosidad de los lodos afecta la velocidad de perforación. En una misma formación y manteniendo todas las demás variables iguales, la velocidad de perforación disminuye a medida que aumenta la viscosidad, en la Fig. 2, se muestra una curva promedio del efecto de la viscosidad en la velocidad de perforación obtenida con datos de laboratorio, según Eckel. De acuerdo con esta curva, la mayor reducción en la velocidad de perforación se obtiene en el rango de viscosidad de 0 a 15 cps.

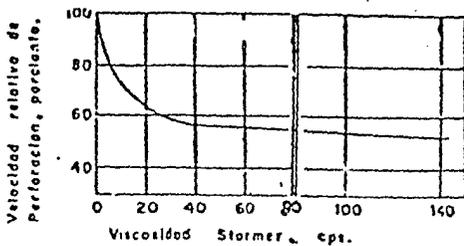


Fig. 2,

Este efecto de la viscosidad sobre la velocidad de perforación se debe posiblemente a una o a varias de las siguientes causas:

1. Al aumentar la viscosidad del lodo, disminuye la eficiencia hidráulica de las bombas de lodo.
2. Un aumento de viscosidad incrementa las pérdidas por fricción en el circuito del lodo, lo cual significa por lo general, una reducción en el volumen del lodo circulado y menor eficiencia del lodo para eliminar los recortes.
3. Los lodos con muy altas viscosidades, proporcionan un colchón viscoso - que disminuye la fuerza del impacto de los dientes de la barrena sobre la formación.

Si de la ecuación:

$$\frac{F}{A} = \mu \frac{v}{d} \quad \text{despejamos } \mu, \text{ tenemos que:}$$

$$\mu = \frac{F/A}{v/d}$$

Dónde a la fracción del numerador $\frac{F}{A}$ se le conoce como esfuerzo de corte y cuyas unidades son lbf/100 pies² y a la fracción $\frac{v}{d}$ que es un gradiente de velocidad, se le llama Velocidad de Corte y sus unidades serán seg⁻¹, por lo tanto, la viscosidad será una relación del esfuerzo de corte a la velocidad de corte en un líquido, tiene aplicación práctica en los viscosímetros de tipo rotacional.

Determinando la variación del valor del esfuerzo de corte a diferentes velocidades de corte, se pueden conocer las propiedades reológicas de los lodos de perforación y por consiguiente, el tipo de fluido, ya que se han establecido cuatro modelos ideales para su control, éstos son:

- Fluidos newtonianos o verdaderos.
- Fluidos pseudoplásticos.
- Fluidos dilatantes
- Fluidos plásticos de Bingham,

Los tres últimos se les conoce como fluidos no newtonianos. La mayor parte de los lodos de perforación se comportan como fluidos plásticos o no newtonianos.

Fluïdos newtonianos.- Se caracterizan porque la relación del esfuerzo de corte con la velocidad de corte es constante, esto es, su viscosidad es constante si permanecen fijos la temperatura y la presión (Fig. 3), esta misma condición la cumplen también los gases y desde este punto de vista pueden considerarse como fluïdos newtonianos.

Como ejemplo de líquidos verdaderos, tenemos el agua, la mayor parte de las soluciones acuosas, alcohol etílico, eter, etc.

Fluïdos pseudoplásticos.- En estos líquidos, la viscosidad disminuye al aumentar la velocidad de corte (Fig. 4), ejemplos de este tipo de fluïdos son soluciones de latex y algunas soluciones de jabón.

Fluïdos dilatantes.- El valor de la viscosidad aumenta, al aumentar la velocidad de corte (Fig. 5), resinas vinílicas y engrudo de almidón son ejemplos de este tipo de fluïdos.

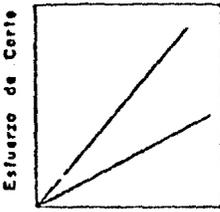


Fig. 3



Fig. 4

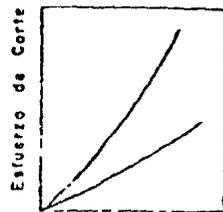


Fig. 5

Fluidos plásticos de Binham.- El comportamiento de estos fluidos bajo diferentes valores de esfuerzo de corte, se caracterizan por dos parámetros: la Viscosidad Plástica y el Punto de Cedencia (Fig. 6).

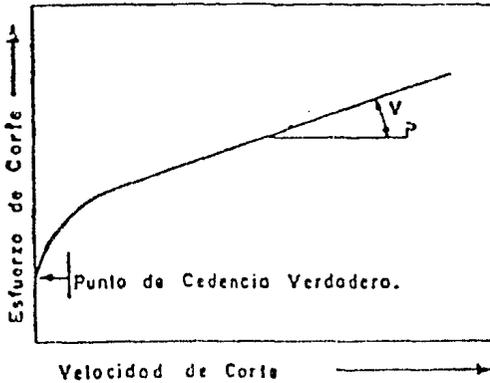


Fig. 6

Se requiere un valor determinado del esfuerzo de corte para obtener una velocidad de corte apreciable. Este valor mínimo del esfuerzo de corte se denomina Punto de Cedencia, esto es, se requiere un valor finito del esfuerzo de corte para iniciar el flujo del fluido al incrementarse el esfuerzo de corte, se reduce la viscosidad del líquido en la región donde el régimen de flujo es de tapón, en la región de transición de flujo tapón a flujo laminar. En la región de flujo laminar, la viscosidad permanece constante y se le denomina Viscosidad Plástica. El valor de la viscosidad disminuye nuevamente en la región de transición de flujo laminar a flujo turbulento. En la región de flujo turbulento estos líquidos plásticos se comportan en forma similar a los verdaderos, es decir, el esfuerzo de corte es directamente proporcional a la velocidad de corte. Como ejemplos de estos líquidos

aparte del lodo de perforación ya mencionado, están las lechadas de cemento, la mayor parte de la suspensión de sólidos, particularmente si los sólidos tienden a hincharse; también se encuentran algunas gelatinas de fracturación empleadas en pozos petroleros.

El punto de cedencia o valor inicial del esfuerzo de corte, se debe a una propiedad de estructuración por cargas químicas residuales de las partículas coloidales en suspensión, originando que los líquidos plásticos en reposo adquieran una consistencia gelatinosa, la cual desaparece por agitación, a esta propiedad se le denomina Tixotropía, y es un proceso reversible e isotérmico.

El valor de la viscosidad plástica de un fluido de Bingham depende de los siguientes factores:

- a) Temperatura del fluido.
- b) Viscosidad del medio dispersante, fase líquida.
- c) Concentración de los sólidos.
- d) Forma de los sólidos.

De acuerdo a lo anterior, el tratamiento de lodos con agentes dispersantes no reduce la viscosidad plástica de los mismos, puesto que no modifica ninguno de los factores mencionados. Si el agente dispersante reduce el punto de cedencia del lodo por saturación de valencias químicas, el estudio visco

métrico del lodo tratado con dispersante, dará una curva similar a la curva B (Fig. 7) siendo la curva A la del lodo original sin tratamiento.

Si a la vez se reduce el punto de cedencia del lodo por la adición de un dispersante, alteramos uno de los factores que influyen en la viscosidad plástica, como por ejemplo, reduciendo la concentración de sólidos que es la forma más común de reducir la viscosidad plástica, se obtendrá un lodo con menor punto de cedencia y menor viscosidad plástica, como se encuentra en la curva C (Fig. 7).

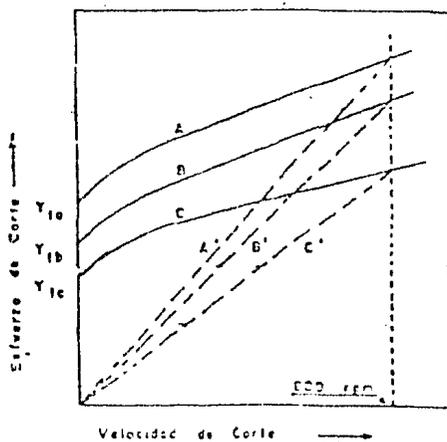


Fig. 7

Como son muchos los factores que influyen en la viscosidad plástica, no siempre se puede correlacionar ésta con el contenido de sólidos de un lodo y para el control de los lodos en los pozos, se establecen límites o rangos de viscosidad plástica.

Estos rangos deben determinarse para cada región y para cada densidad, - tipo de lodo, tratamiento químico, etc. como excepción a lo ya indicado, algunos lodos si disminuyen su viscosidad plástica cuando se tratan con dispersantes.

Las rectas A', B' y C' (Fig. 7), representan las viscosidades aparentes correspondientes a los tres lodos. La viscosidad aparente de un líquido - plástico es la diferencia a una sola velocidad de corte, suponiendo que ese valor corresponde a la lectura de un líquido verdadero, o sea, que la viscosidad aparente está dada por la pendiente de la recta que va del origen al punto determinado por los valores de esfuerzo de corte y velocidad de corte.

Equipo para medir la viscosidad de los fluidos de perforación

Embudo Marsh.- Este fué el primer instrumento para medir la viscosidad del lodo (Fig. 8), esta medición se efectúa comparando el tiempo de escurrimiento del lodo con el del agua. El embudo es un instrumento calibrado con una capacidad de 1,500 cc, con una perforación en la parte inferior para la descarga. Un litro de agua se descarga en 28 segundos y el tiempo requerido para que escurra un litro de lodo dá una indicación de su viscosidad. El único beneficio que se obtiene al utilizar este método es el detectar los - cambios en las propiedades del lodo, que pueden ser indicativas de los posibles problemas del pozo.

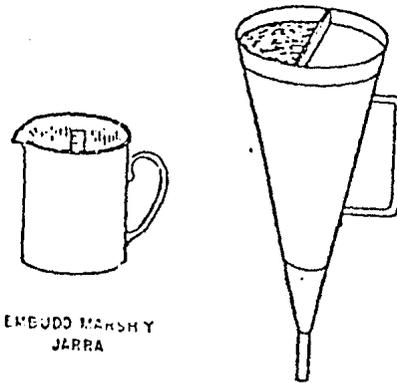


Fig. 8

Con las medidas de viscosidad así obtenidas, no se podrá establecer una - correlación entre dos diferentes sistemas de lodos, es decir, un lodo disperso con viscosidad de embudo de x segundos, no tiene la misma consistencia que un lodo no disperso de idéntica viscosidad de embudo, por lo tanto, un programa específico de lodo no se puede basar en la viscosidad de embudo.

Viscosímetros rotacionales.- En el campo, las propiedades del flujo están dadas en función de la viscosidad plástica, punto de cedencia y esfuerzo - de GEI de un lodo de perforación, las cuales se miden usando un viscosímetro de velocidad variable, como es el viscosímetro Fann V-G, Modelo 35 (Fig. 9) de dos velocidades y 12 volts. También se usa el Reómetro Baroid de dos velocidades movido a mano.

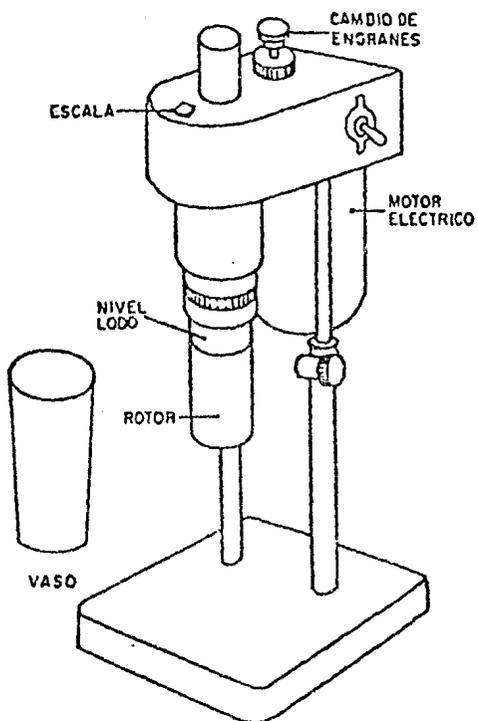


Fig. 9

Las relaciones reológicas del viscosímetro Fann V-G, se indican a continuación:

V_p = viscosidad plástica, cps.

V_a = Viscosidad aparente, cps.

YB = Punto de cedencia de Birnham lb/100 pies².

Yt = Punto de cedencia verdadero lb/100 pies².

L300 = Valor del esfuerzo de corte en la escala del viscosímetro
a 300 rpm.

L600 = Lectura de la escala a 600 rpm.

Por definición.

$$V_p = L600 - L300$$

$$V_a = \left(\frac{1}{2}\right) L600$$

$$Y_B = L300 - V_p$$

$$Y_t = \left(\frac{3}{4}\right) Y_B.$$

Gelatinosidad.

Es el valor del esfuerzo de corte necesario para iniciar una velocidad de -
gelatinización de lodos. La curva A representa un lodo con alta fuerza de
gelatinosidad y alta velocidad de gelatinización. (Fig. 10)

La curva B representa un lodo con alta fuerza de gelatinosidad y velocidad
de gelatinización lenta.

La curva C un lodo con velocidad de gelatinización alta pero baja fuerza de
gelatinosidad.

Los líquidos verdaderos no tienen gelatinosidad, por muy alta que sea su viscosidad.

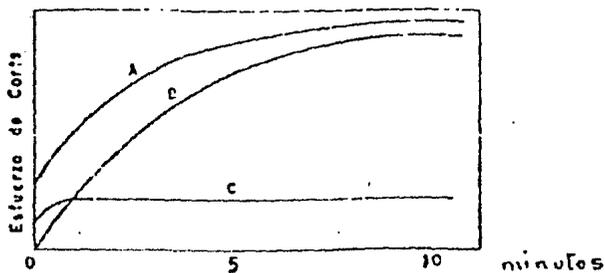


Fig. 10

La fuerza de gelatinosidad inicial y el punto de cedencia verdadero en los líquidos plásticos son teóricamente iguales, sin embargo, en la práctica difieren sus valores. Las discrepancias pueden deberse a las siguientes causas:

- a) Los lodos de perforación no se comportan exactamente como fluidos plásticos de Bingham a bajas velocidades de corte.
- b) La imposibilidad de medir el esfuerzo de corte inicial a exactamente cero segundos de tiempo de reposo.

Equipo para medir gelatinosidad

Gelatinosímetro de Peso Muerto.- Este instrumento solo nos da una idea aproximada sobre los valores de la gelatinosidad y de la velocidad de gelatinización de los lodos. No debe utilizarse cuando las gelatinosidades son muy bajas o muy altas. El rango de la escala es de 3 a 70 lb/100 pies².

Gelómetro Baroid.- Este instrumento dá lecturas directas de la gelatinosidad, en un rango de 0 a 90 lb/100 pies². El esfuerzo de corte lo dá un resorte en espiral conectado a un cilindro que gira sumergido en el lodo, este aparato se mantiene tapado durante los 10 minutos de reposo, por lo que no se forma nata en la superficie del mismo.

1.3 Filtrado o pérdida de agua.

Los flúidos de perforación son un elemento importante en el programa de perforación, por lo tanto su principal contribución a los progresos en la perforación son la máxima eficiencia manteniendo costos mínimos.

Entre las propiedades principales del fluído de perforación, se encuentra el tratamiento para el mantenimiento de la permeabilidad en el enjarre, así como el mantenimiento del filtrado lo mas bajo posible para obtener una buena estabilidad en el agujero y disminuir la invasión del filtrado y el daño en los horizontes potencialmente productores.

Los lodos de perforación tienen una habilidad de sellar las formaciones permeables que van siendo perforadas, debido a la creación de una delgada capa de lodo en las paredes del agujero denominada Enjarre, la cual se presenta principalmente en aquellas formaciones que sean permeables. Por lo cual se requerirá de una permeabilidad baja del filtrado en el enjarre para una óptima terminación del pozo.

Esto se debe a que la presión de la columna de lodo deberá ser tan grande como la presión de poro de la formación requerida para prevenir el flujo de los fluidos de la formación dentro del pozo, consecuentemente el lodo invade las formaciones permeables si el enjarre no fué formado.

Para la formación del enjarre, es esencial que el lodo contenga algunas partículas de tamaño muy pequeño y partículas coloidales hidratables para el cierre de los poros de la formación. Estas partículas quedarán atrapadas dentro y en la superficie de los poros, por lo que las partículas finas son las primeras en ser acarreadas al fondo de la formación. La zona taponada en la superficie de los poros comienza a atrapar sucesivamente pequeñas partículas y en segundos solo los líquidos invaden la formación.

A la suspensión de las partículas finas que entran al enjarre de la formación y que al momento se estabiliza, se le conoce como Filtrado Primario y al líquido que entra subsecuentemente, se le conoce como Filtrado del Lodo.

El valor del filtrado y el espesor de enjarre dependen de la concentración y naturaleza de los sólidos en el lodo, especialmente los de dimensiones coloidales, de la concentración y características de los líquidos emulsionados en el lodo, de la presencia de ciertos reactivos, generalmente orgánicos, que no son completamente solubles en el lodo, pero que sí forman geles, tales como el almidón, la CMC, quebracho, etc. y de la distribución por tamaños de las partículas de sólidos en el lodo.

Los valores adecuados de filtrado y enjarre varían en diferentes áreas y generalmente se rigen por las características de las formaciones perforadas y de las formaciones productoras. En general, podemos decir que un filtrado alto provoca derrumbes en formaciones inestables y aumenta la invasión de las formaciones productoras. La mayoría de los reductores de filtrado aumentan la viscosidad de los lodos y, en general al disminuir el filtrado, se reduce la velocidad de perforación.

Se ha encontrado por ejemplo, que la velocidad de perforación no se afecta por la presión hidrostática impuesta en el fondo del pozo, si tal presión se equilibra abajo de la barrena.

El agua penetra fácilmente la roca permeable abajo de la barrena, de manera que desaparece la diferencia de presión a través del pequeño elemento de roca que se perfora. En cambio, los lodos con bajo filtrado, depositan casi instantáneamente una película dura de baja permeabilidad en el fondo del -

pozo, permitiendo que exista una diferencia de presión, o una compactación, en el delgado elemento de roca que se perfora. Además los dientes de la - barrena tienen que atravesar un enjarre duro para perforar la roca y los - cortes quedan atrapados por el enjarre pastoso y se requiere de mayor tiem po de circulación para limpiar el fondo.

Para proteger las formaciones productoras, es conveniente un filtrado bajo, aún cuando esto no sea lo más recomendable desde el punto de vista de la ve locidad de perforación. Por otra parte, un enjarre grueso restringe el pa- so de las herramientas de perforación, dificulta las corridas de tuberías - de revestimiento, puede crear un efecto de succión al sacar la tubería de - perforación, puede ocasionar que se canalice el cemento al cementar las tu- berías, etc.

Equipo utilizado en la determinación del filtrado:

Filtros prensa de baja presión y temperatura.- Existen varios modelos de - filtros de baja presión y temperatura, siendo la diferencia principal entre ellos las fuentes de presión que utilizan y que pueden ser: aire o nitrógeno comprimidos, gas carbónico o presión hidráulica.

La Fig. 11 muestra un equipo de este tipo.

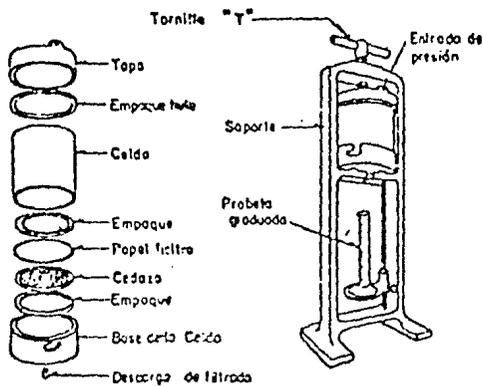


Fig. 11

CAPITULO II

MATERIALES DENSIFICANTES DE USO COMUN EN EL CAMPO, CARACTERIS- TICAS FISICAS Y QUIMICAS DE CADA UNO.

Los materiales densificantes, se pueden clasificar en forma general en dos tipos: Dispersos y solubles.

Dentro de los dispersos, los más comunmente utilizados por la industria petrolera, son las arcillas y las sales insolubles.

Arcillas:

	Nombre comercial:
Sulfato de Bario:	Barita
	Baroid
	Imco bar
	Magco Bar

Sales Insolubles:

Oxido de Hierro	Fer-O-Bar
Carbonato de Calcio	Carbonato de Calcio
	Weightex
	IMP-BF-32.5
	Arco Wate
	Imco Wate
	Calcimin

Carbonato de Fierro

Carbonato de Fierro

Siderita.

Salas Solubles:

Cloruro de Calcio

Cloruro de Calcio

Dow Flakes

Cloruro de Sodio

Sal común.

Bromuro de Calcio

Bromuro de Zinc

Cloruro de Potasio

Cloruro de Magnesio

o combinación de ellos.

Breve descripción de los materiales mencionados:

Barita

Se le conoce como Sulfato de Bario o Baritina.

Su fórmula química es $BaSO_4$.

La Barita pura contiene 65.7% BaO y 24.4 SiO₂.

En su forma comercial, puede tener impurezas tales como: silicatos, óxidos de hierro, calizas, dolomitas, lutitas, etc.

Es insoluble en agua, tiene una dureza de 2.5 a 3.5 en la escala de Mohs, un peso específico de 4.2 a 4.4.

Su color varía de blanco o gris claro a rojo o café, dependiendo de las impurezas contenidas.

Es un mineral que tiene rayas blancas y un brillo aperlado y comunmente se presentan como cristales ortorómbicos de la clase piramidal.

Geológicamente, se cree que la barita tiene su origen como una deposición de agua caliente circulante desde una gran profundidad y se encuentra en cuatro principales tipos de depósito.

1. Calizas y otras rocas sedimentarias.
2. Como nódulos residuales en arcillas.
3. En yacimientos de reemplazo de calizas y lutitas.
4. Como materiales de ganga en vetas metalíferas.

Para su aplicación en el campo, el Instituto Mexicano del Petróleo, elaboró una gráfica para determinar los sacos de barita de 50 kg c/u y el aumento de volumen correspondiente para densificar 10 m^3 de fluido, desde una densidad inicial ρ_i hasta una densidad final requerida ρ_f , se consideró densidad de barita de 4,25 gr/cc.

A continuación, se describe la manera de utilizar la gráfica y se proporcionan dos ejemplos complementarios.

1. Localizar ρ_i en el eje de las abscisas.
2. Interceptar la línea ρ_f deseada, trazando una perpendicular desde ρ_i
3. Encontrar el eje de las ordenadas trazando una paralela al eje de las abscisas desde el punto de intersección, el número de sacos de barita por cada 10 m^3 de fluido.
4. Localizar el punto de intersección de la paralela trazada en el inciso 3, con la diagonal "aumento de volumen"
5. Encontrar la proyección de este punto, con la línea debajo del eje de las abscisas y se tendrá el aumento de volumen en m^3 correspondiente a la cantidad de barita por añadir por cada 10 m^3 de fluido.

Ejemplos:

1.- Si $V_i = 80 \text{ m}^3$

$$\rho_i = 0.95 \text{ gr/cc}$$

y se requiera una $\rho_f = 1.60 \text{ gr/cc}$.

De la gráfica tenemos

$$\text{Sacos de barita} = 208 \text{ scs} \times \frac{80 \text{ m}^3}{10 \text{ m}^3} = 1664 \text{ sacos.}$$

$$\text{Aumento de volumen} = 2.46 \text{ m}^3 / 10 \text{ m}^3.$$

$$V_f = 80 \text{ m}^3 + (2.46 \text{ m}^3) \left(\frac{80 \text{ m}^3}{10 \text{ m}^3} \right) = 99.6 \text{ m}^3.$$

2.- Si $V_i = 250 \text{ m}^3$

$$\rho_i = 1.52 \text{ gr/cc.}$$

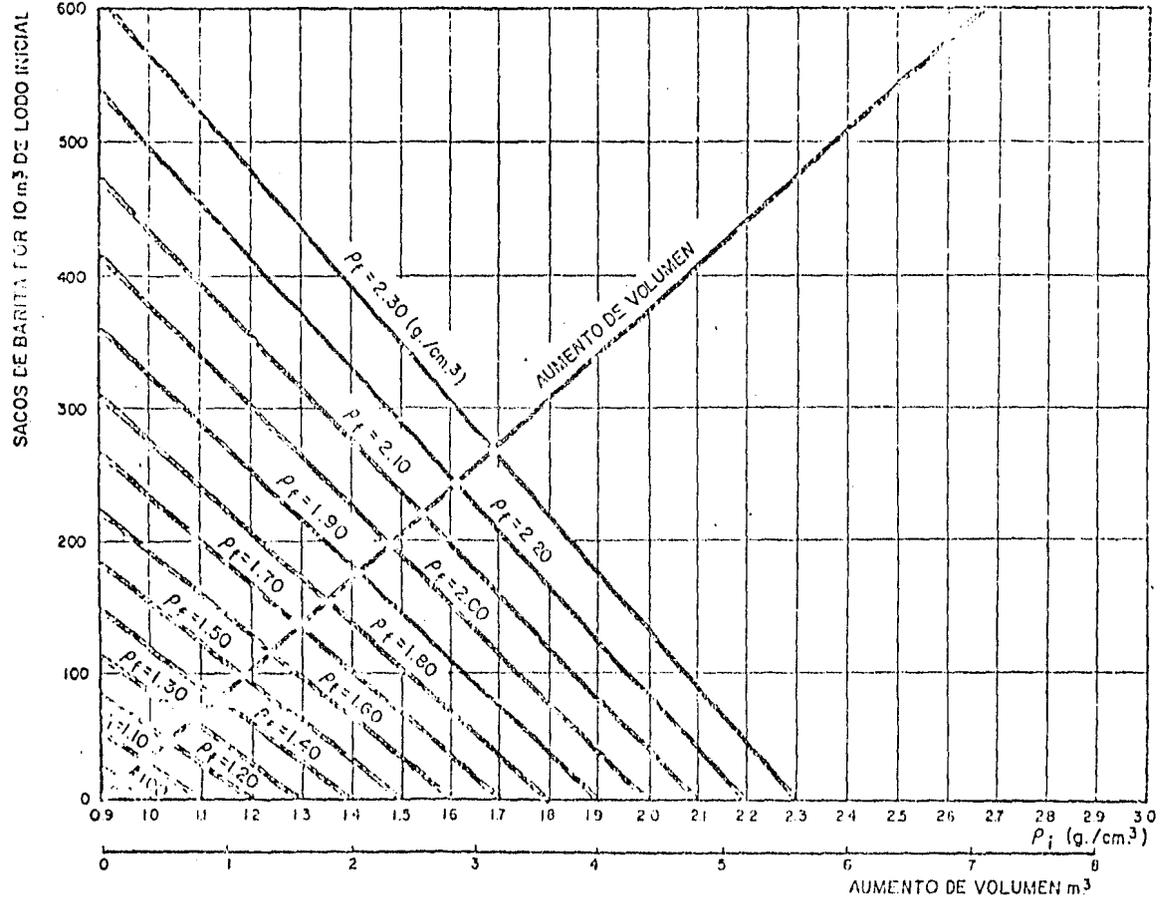
y se requiera una $\rho_f = 1.62 \text{ gr/cc}$.

$$\text{Sacos de barita} = 34 \left(\frac{250}{10} \right) = 850 \text{ sacos.}$$

$$\text{Aumento de volumen} = 0.4 \text{ m}^3 / 10 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, el V_f será

$$V_f = 250 \text{ m}^3 + (0.40 \text{ m}^3) \left(\frac{250 \text{ m}^3}{10 \text{ m}^3} \right) = 260 \text{ m}^3.$$



BARITA REQUERIDA Y AUMENTO DE VOLUMEN AL DENSIFICAR 10 m.³ DE FLUIDO IMP-El

FEROBAR

El FEROBAR es también un material densificante utilizado algunas veces como sustituto de la barita, este es un producto sintético de color marrón oscuro, manufacturado por Sachtieben Chemie GMBH de Alemania Occidental.

La gravedad específica del FEROBAR determinada por el método de Lechatelier es de 4.7

Los análisis químicos señalan al FEROBAR con aproximadamente el 85% de hematita (Fe_3O_3) y un 15% de Si, Al, Zn, Mn.

Carbonato de Calcio

El carbonato de calcio, cuya fórmula química es CaCO_3 , tiene un peso molecular de 100.09. Aparece en la naturaleza en forma de mármol, gis, y coral.

El CaCO_3 en polvo, es producido por métodos químicos o por tratamiento mecánico de los materiales naturales. También se obtiene por medio de procesos de precipitación; los productos obtenidos por métodos de precipitación, tienen un tamaño más uniforme de sus partículas y un alto grado de pureza química.

El carbonato de calcio precipitado data de 1850, cuando H. y Sturge, Ltd, de Birmingham, Inglaterra empieza su producción, usando cloruro de calcio y carbonato de sodio como reactivos.

El CaCO_3 aparece en forma natural, en dos tipos de estructura cristalina, la calcita y la aragonita.

La aragonita tiene cambios irreversibles a calcita, cuando es calentada y secada a casi 400°C , la transformación es más rápida al contacto con agua o soluciones conteniendo CaCO_3 .

La forma cristalina de la calcita es del tipo hexagonal y de la aragonita, del tipo ortorómbico.

Dentro de las sales solubles, podemos mencionar las siguientes:

Cloruro de Sodio:

El cloruro de sodio, también conocido como sal común, es el principal componente de la sal marina. Se extrae ya directamente del agua de mar, por evaporación en las salinas o minas.

El cloruro de sodio se presenta en cristales incoloros cúbicos, es soluble en agua, que puede disolver 300 grs. de sal por litro; su fórmula química es NaCl.

Cloruro de Potasio:

Su fórmula química es KCl, existe en pequeñas cantidades en el agua de mar. Se le extrae de las cenizas de las plantas terrestres y de las vinazas de la remolacha.

Es una sal incolora, cristalizada en cubos y sus propiedades son análogas al cloruro de sodio. La electrólisis de una solución de esta sal da cloro y potasa.

Con ácido sulfurico forma sulfato de potasio.

Cloruro de Calcio:

CaCl_2 , es una sal blanca que se obtiene por la acción del ácido clorhídrico sobre la caliza.

Bromuro de potasio:

(BrK), se obtiene ya por acción del bromuro sobre la potasa y su ulterior calcinación para descomponer el bromato formado ya por reacción del carbonato potásico con el bromuro de hierro.

Se presenta en forma de cubos incoloros, es de sabor salado y picante, muy soluble en agua.

CAPITULO III

CONDICIONES PARA SU APLICACION EN EL CAMPO

La condición mas importante para el manejo de los materiales densificantes, es conocer su densidad y naturaleza química para definir la cantidad y su comportamiento en los sistemas a utilizar, tal es el caso de los siguientes materiales.

FER-O-BAR u Oxido de Fierro:

Su densidad de 4.7 gr/cc, le permite ser utilizado en menor cantidad que la barita al densificar un lodo, ya que la densidad de la barita es menor.

Es un densificante soluble hasta un 85% en ácido clorhídrico.

Este material contiene un bajo contenido de material coloidal, lo que provoca que forme enjarres muy gruesos y pérdidas de filtrado altas, por lo que resulta poco recomendable.

Otra de los inconvenientes del Fer-O-Bar, es que reacciona con el H_2S formando polisulfitos de hierro insolubles.

Las características tixotrópicas del Fer-O-Bar, son muy bajas, esto hace que el material en suspensión, tienda a sedimentarse a mayores velocidades al cesar la circulación del lodo.

Su grado de abrasividad es muy alto, de 3 a 5.4 veces más que la barita, lo que ocasiona un mayor daño tanto al equipo como a las herramientas utilizadas en las operaciones de perforación, esto motivó que se le dejara de usar como material densificante.

Carbonato de Calcio

El rango de densidad del carbonato de calcio se encuentra entre 2.6 y 2.8 gr/cc.

Tiene una dureza en la escala de MOHS de tres.

El carbonato de calcio, es utilizado para obtener lodos de perforación de densidad media, empleados en la perforación de la última etapa, ya que no daña a la formación productora debido a su alta solubilidad en medios ácidos, tal es el caso del fluido IMP-AD empleado en operaciones de terminación y reparación de pozos.

Carbonato de Fierro o Siderita

Su densidad varía de 3.7 a 3.9 $\frac{\text{gr}}{\text{cc}}$.

Su dureza en la escala de Mohs está entre 3.5 y 4.0.

El carbonato de fierro es utilizado principalmente en operaciones de reparación y terminación de pozos ya que no daña la formación productora, debido a su alta solubilidad en medios ácidos.

Sales Solubles

Cloruro de Calcio:

El cloruro de calcio (CaCl_2), es usado principalmente para formar fluidos libres de sólidos.

Pueden ser obtenidos todos hasta de una densidad de $11.8 \frac{\text{lb}}{\text{gal}}$ ($1.41 \frac{\text{gr}}{\text{cc}}$)

Es usado también en combinación con cloruro de sodio para obtener densidades intermedias. A menor saturación, el cloruro de calcio es mas corrosivo que el cloruro de sodio.

Cloruro de sodio:

Es usado principalmente en la perforación de domos salinos.

Proporciona una densidad de hasta $10 \frac{\text{lb}}{\text{gal}}$ ($1.2 \frac{\text{gr}}{\text{cc}}$).

Bromuro de calcio:

En una sal soluble, se emplea para obtener salmueras de densidad

$1.68 \frac{\text{gr}}{\text{cc}}$ ($14 \frac{\text{lb}}{\text{gal}}$)

El problema que presenta este tipo de salmuera, es su alta corrosividad.

Bromuro de Zinc:

Sal soluble, se emplea para obtener salmueras de densidad $2.04 \frac{\text{gr}}{\text{cc}}$ ($17 \frac{\text{lb}}{\text{gal}}$),

las cuales son corrosivas.

La combinación de sales solubles, nos originan salmueras, éstas se usan principalmente en trabajos de reparación y terminación de pozos, debido a que no contienen sólidos en suspensión que puedan dañar la formación o dificultar dichas operaciones.

Las soluciones de cloruro de calcio y nitrato de sodio, pueden prepararse y proporcionar densidades de 1.38 a 1.44 $\frac{\text{gr}}{\text{cc}}$ (11.5 a 12 $\frac{\text{lb}}{\text{gal}}$).

Las soluciones de cloruro de calcio y bromuro de calcio proporcionan densidades de 1.4 a 1.81 $\frac{\text{gr}}{\text{cc}}$ (11.7 a 15.1 $\frac{\text{lb}}{\text{gal}}$). Sin embargo, estas soluciones no son compatibles con muchos de los materiales usados en los fluidos de perforación y serán corrosivos a menos que se traten con algún inhibidor.

CAPITULO IV.

ESPECIFICACIONES QUE DEBE CUMPLIR LA BARITA PARA SU APLICACION Y LIMITACIONES.

La Barita en la industria petrolera mexicana, se utiliza como agente den-
sificante en flúidos de perforación, reparación y terminación de pozos.

Para esto debe cumplir con ciertas especificaciones, tanto físicas como
químicas, dichas especificaciones son las siguientes:

Análisis físicos:

- Densidad en gr/cm^3

Especificaciones:

4.23 mínimo

Granulometría:

- Retenido en malla 200 ASTM
(abertura de 0.074 mm) en %

4.0 máximo.

- Retenido en malla 325 ASTM
(abertura de 0.044 mm) en %

8.5 mínimo.

Análisis químico:

- Sólidos solubles como ion
calcio en P.P.M.

300.0 máximo.

La barita es envasada en sacos de 50 kg. para su envío a los centros de con-
sumo.

Estos sacos están fabricados con 5 capas de papel kraft, siendo la primera de ellas de 80 gr/m² y las cuatro restantes de 70 gr/m².

La tercera o cuarta de dichas capas deberá ser impermeabilizada por medio de una capa de plástico adherido al papel y tener un espesor mínimo de - 0.018 mm.

La presencia de la barita es extensa y ha sido reportada en la mayoría de los países del mundo.

La barita como se encuentra en la naturaleza, varía considerablemente des de vetas de casi sulfato puro de bario a tipos de depósito de reemplazo, - los cuales algunas veces contiene sólo una pequeña cantidad de sulfato de bario.

Los depósitos de barita pueden ser explotados por varios métodos, como por ejemplo: lavado, separación por vibración, flotación, etc.

Algunos de los yacimientos de barita más importantes en nuestro país, se en cuentran en los estados de:

- Coahuila,
- Chihuahua,
- Durango,
- Nuevo Leon,
- Oaxaca,
- Zacatecas, etc.

CAPITULO V

MEDIOS FISICOS Y QUIMICOS PARA DISPERSAR LA BARITA.

Dentro de los medios físicos para dispersar la barita, podemos mencionar: los agitadores de fondo y las pistolas superficiales. Ambos son los más utilizados en la industria petrolera mexicana.

Su utilización, nos permite dispersar u homogeneizar el volumen de barita en el fluido de perforación, esto es, mantener en suspensión la barita, evitando el asentamiento.

Las pistolas, son una boquillas colocadas en los bordes de las presas, están alimentadas por una bomba auxiliar o mezcladora de lodo.

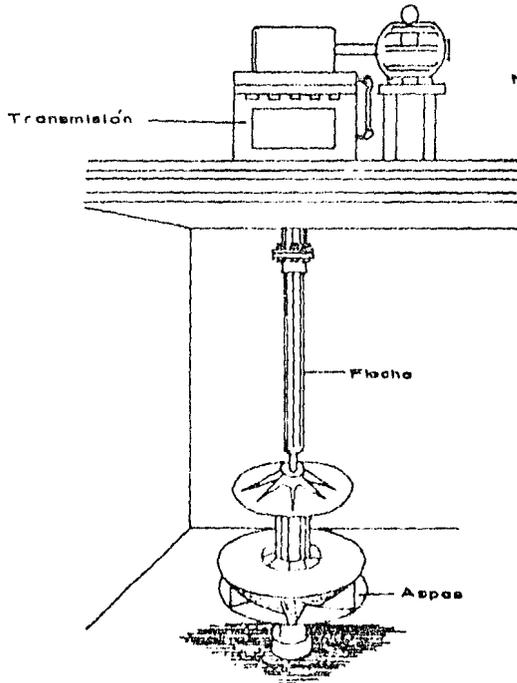
En los agitadores de fondo, existe una gran variedad de tipos y tamaños, su función es la de remover las partículas asentadas en el fondo de la presa.

A continuación, se muestran las figuras A y B de un agitador y sus especificaciones.

AGITADORES DE Lodos

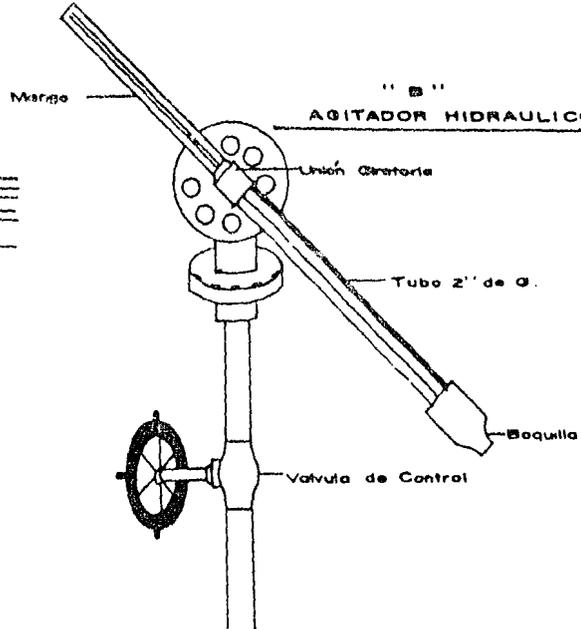
"A"

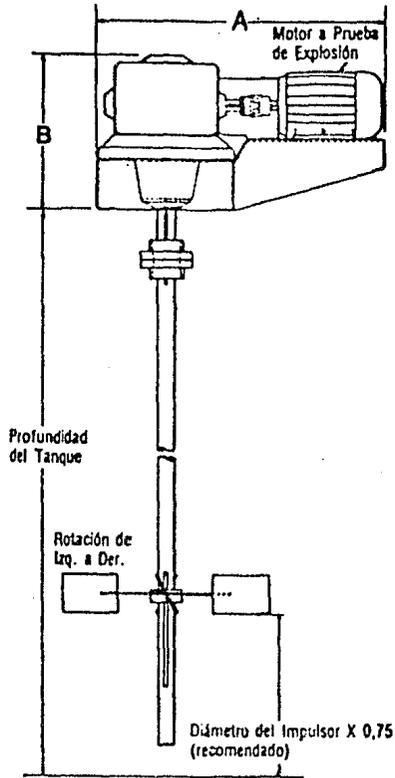
AGITADOR ELECTRICO



"B"

AGITADOR HIDRAULICO





84

Especificaciones

Modelo	Potencia	Dimensiones (pg. base)						Peso							
		A	B	Anchura	Diámetro Mínimo del Impulsor	Diámetro del eje	Eje (lbs. in)	Agitador menos Eje e Impulsor (lbs. kg)							
MA1	1.0	20%	668.8	13%	348.2	12%	311.2	12	304.8	1 1/2	38.1	6.0	8.0	200	90.7
MA2	2.0	31	787.4	14%	371.5	14%	371.5	20	508.0	1 1/2	38.1	6.0	8.0	310	140.8
MA3	3.0	34%	879.5	16%	425.4	16%	419.1	24	609.6	1 1/2	44.4	8.2	12.4	406	184.2
MA5	5.0	39%	1063.3	16%	425.4	18%	476.2	26	711.2	2%	60.3	15.1	22.8	580	263.1
MA7.5	7.5	51%	1308.1	24%	616.0	24%	622.3	32	812.8	2%	60.3	15.1	22.8	1200	544.3
MA10	10.0	51%	1308.1	24%	616.0	24%	622.3	32	812.8	3	76.2	24.0	36.2	1224	555.1
MA15	15.0	54%	1382.7	25%	650.8	26	711.2	36	914.4	3	76.2	24.0	36.2	1630	830.0
MA20	20.0	60%	1539.9	27%	689.0	30%	774.7	40	1016.0	3 1/2	82.8	28.1	42.4	1898	860.9
MA25	25.0	68	1727.2	30%	784.2	35%	898.5	40	1016.0	3 1/2	88.9	32.7	49.4	3130	1419.7

Medios químicos:

Están constituidos por los siguientes productos: taninos (quebracho), lignosulfonato y lignito.

Fluidos tratados con taninos:

Un fluido tratado con tanino puede usarse desde el comienzo de un pozo hasta su terminación, siempre y cuando el pozo no presente temperaturas mayores a 100°C.

Dependiendo de la densidad del lodo y de las propiedades que se requieran, el tratamiento con tanino puede llevarse inicialmente desde 0.5 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ o menos en lodos de bajos sólidos ó hasta 8 ó 10 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ en lodos pesados.

Para ayudarlo a ser más soluble en el agua y mantener sus propiedades dispersantes, se le añade sosa cáustica (NaOH) en cantidades pequeñas controlándose por medio del PH. La adición de aceite disminuye un poco el filtrado y ayuda a estabilizar el fluido.

Fluidos tratados con cromolignosulfonatos:

Las dificultades encontradas al atravesar formaciones con temperaturas mayores a 100°C, han obligado al uso de otro tipo de reactivos tales como el cromolignosulfonato. El tratamiento puede efectuarse en un ciclo del sistema, añadiéndolo por los embudos y otra parte, disolviéndolo en forma diluida por los tanques de reactivo hasta alcanzar una concentración de 10 a 15 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, la sosa cáustica se añade de 0.7 a 1.0 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

También se puede emulsionar con aceite hasta un 20% sin necesidad de agregar un agente emulsificante, así incrementa su acción dispersante.

Hay algunos cromolignosulfonatos, que unidos a la acción dispersante reducen el filtrado.

Los fabricantes de estos reactivos, recomiendan que se adicione un cromolignito cáustico en la proporción de un medio de éste por uno de cromolignosulfonato.

Cromolignito:

Los compuestos del lignito empleados en la industria de la perforación, están clasificados de acuerdo al contenido de ácido húmico. Se obtienen de minas y se procesan para darles uso en los lodos de perforación.

Los cromolignitos constituyen un dispersante químico barato que contribuye a un mejor control de las propiedades reológicas, tixotrópicas y filtrantes de un lodo. Son valiosos principalmente para su uso, en donde se tienen temperaturas de fondo mayores a 100°C, debido a que no se degradan por este efecto.

Limitaciones:

Son ineficientes cuando hay grandes concentraciones de sal (arriba de 50,000 ppm), debido al efecto floculante en las arcillas.

Su capacidad de cambio de base y la habilidad para cambiar un cation por otro diferente limita su uso, en presencia de cationes divalentes como el calcio o el magnesio, los cuales son cambiados por el ion sodio disminuyendo la eficiencia del mismo, por tanto su acción es limitada en presencia de grandes contaminaciones del lodo con sales tanto de sodio como de calcio.

CAPITULO VI

FASE EXPERIMENTAL

El principal objetivo, es definir el comportamiento reológico de un lodo bentonítico sin emulsionar y emulsionado, densificado con barita a 1.2, 1.5 y 1.8 $\frac{gr}{cc}$ y tratado para controlar sus propiedades reológicas, tixotrópicas y filtrantes.

Los lodos son base agua y base agua emulsionados con el 10% de diesel.

A continuación, se describen las etapas de esta fase efectuadas en el laboratorio.

PRIMERA ETAPA:

1.- Determinación de la densidad de los materiales a emplear.

1.1 Equipo de medición:

- a) Matraz Lechatelier.
- b) Balanza de lodos.

1.2 Procedimiento:

- a) Se agregó diesel al matraz Lechatelier hasta la marca de cero, Ver figura 12.
- b) Se pesan 90 g. de barita y se vacían al matraz.

b) Se tomó la lectura del nuevo nivel del aceite, éste fué de 21.2, que corresponde al volumen desplazado por la barita.

d) Se determina su densidad, mediante la siguiente fórmula:

$$\rho_B = \frac{WB}{VB}$$

Donde:

WB = Peso de la barita (gr.)

VB = Volumen de barita (cc.)

$$\rho_B = \frac{90 \text{ gr}}{21.2 \text{ cc}} = 4.24 \frac{\text{gr}}{\text{cc}}$$

e) Repitiendo el procedimiento para la bentonita, tenemos que:

Wb = 60 gr.

Vb = 26.6 cc.

$$\rho_b = \frac{60 \text{ gr}}{26.6 \text{ cc}} = 2.25 \frac{\text{gr}}{\text{cc}}$$

NOTA: Se utiliza aceite en esta prueba, por tratarse de una substancia que no reacciona con los materiales utilizados.

f) Para el diesel, se utilizó la balanza de lodos, la densidad obtenida fué de:

$$\rho_a = 0.85 \frac{\text{gr}}{\text{cc}}$$

Nota: El manejo de la balanza se describe en el Capítulo I.

SEGUNDA ETAPA:

- 2.- Cálculos para determinar la cantidad de material densificante empleada en el lodo.
- 2.1 Conocida la densidad de la bentonita y de la barita, se procedió a elaborar un lodo bentonítico al 6%, de densidad $1.033 \frac{\text{gr}}{\text{cc}}$, esta corresponde a la densidad inicial ρ_i .

Los valores de densidad final ρ_f utilizada son de 1.2, 1.5 y $1.8 \frac{\text{gr}}{\text{cc}}$

Las densidades antes mencionadas junto con la ecuación de balance de materia, nos permitirá obtener la cantidad de material densificante - utilizado en la elaboración de cada uno de los lodos empleados en esta fase.

2.2 Desarrollo de la E.B.M.

$$V_f = V_i + V_B \text{ ----- 1}$$

$$W_f = W_i + W_B \text{ ----- 2}$$

$$\text{como } \rho = \frac{W}{V}$$

Implica que:

$$W = \rho V \text{ ----- 3}$$

Sustituyendo 3 en 2

$$\rho_f V_f = \rho_i V_i + WB \text{ --- 4}$$

Sustituyendo 1 en 4

$$\rho_f (V_i + V_B) = \rho_i V_i + WB$$

$$\rho_f V_i + \rho_f V_B = \rho_i V_i + WB$$

donde:

$$WB = V_i (\rho_f - \rho_i) + \rho_f V_B \text{ ----- 5}$$

De la ecuación 3 tenemos

$$V_B = \frac{WB}{\rho_B} \text{ ----- 6}$$

Sustituyendo 6 en 5

$$WB = V_i (\rho_f - \rho_i) + \rho_f \frac{WB}{\rho_B}$$

$$\text{Implica que: } WB \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_B}\right) = V_i (\rho_f - \rho_i)$$

Por lo tanto,

$$WB = \frac{V_i (\rho_f - \rho_i)}{1 - \frac{\rho_f}{\rho_B}}$$

donde:

WB = Peso de la barita (gr)

V_i = Volumen inicial del lodo (cc)

ρ_B = Densidad de la barita ($\frac{gr}{cc}$)

ρ_i = Densidad inicial ($\frac{gr}{cc}$)

ρ_f = Densidad final ($\frac{gr}{cc}$)

TERCERA ETAPA:

3. Elaboración de los sistemas densificados a 1.2, 1.5 y 1.8 $\frac{gr}{cc}$ sin tratar y tratados.

3.1 Lodos sin tratar.

3.1.1 Equipo utilizado:

- a) Agitador multimixer
- b) Balanza de lodos

3.1.2 Procedimiento.

- a) En un vaso metálico se vaciaron 500 cc de lodo bentonítico y se agitó.
- b) Se agrega barita previamente calculada para cada densidad y se agita por espacio de 30 minutos.
- c) Se obtiene la densidad con la balanza de lodos.
Ver tabla 1.

3.2 Lodos tratados con cromolignosulfonato y cromolignito.

3.2.1 Una vez formado el lodo bentonítico de acuerdo a la densidad requerida, se colocan las muestras en sus vasos metálicos y se agitan, se les agrega el material dispersante que fué previamente pesado, de acuerdo a las normas del I.M.P.

Para los lodos de 1.2 y 1.5 $\frac{\text{gr}}{\text{cc}}$, la cantidad utilizada fué de 2 partes de cromolignosulfonato por una de cromolignito, esto es 2.8 gr. y 1.4 gr. respectivamente para 500 ml. de lodo.

Para el de 1.8 $\frac{\text{gr}}{\text{cc}}$ de densidad, se agregaron 6 gr. de cada uno de los dispersantes utilizados. Empleando un lodo de esta última densidad, se le agregó una mayor cantidad de material dispersante, estas fueron de 15.0 gr. de cromolignosulfonato y 7 gr. de cromolignito, esto con el fin de comparar el comportamiento reológico de ambos lodos.

3.3 Lodos tratados con cromolignosulfonato, cromolignito y 10% de aceite.

3.3.1 A los lodos previamente tratados con dispersante, se les agregó 10% de aceite, esto es 50 cc. El aceite se agrega al lodo cuando este se está agitando.

CUARTA ETAPA:

4. Medición del PH.

4.1 El factor PH en el lodo, nos indica su grado de acidez o alcalinidad.

Este factor tiene valores que varían de 1 a 14. Un sistema neutro tiene un PH de 7.

La disminución del PH ya sea de 7 a 1, indica un grado de acidez y el aumento del PH de 7 a 14 indica un grado de alcalinidad.

4.2 Después de haberse agregado el dispersante a cada uno de los lodos formados, se les midió el PH con papel indicador, éste fué menor de 9 por lo que fué necesario agregarles sosa cáustica para elevarlos hasta un PH de 9.5, esto con el fin de que los materiales dispersantes sean efectivos.

4.3 Procedimiento.

- a) Una pequeña tira de papel indicador se coloca con cuidado sobre la superficie del lodo o se humedece con una gota del filtrado del lodo.
- b) Se deja el tiempo necesario para que se estabilice el color.
- c) Compare el color obtenido en la tira de papel con los colores de referencia que vienen en cada rollo de papel indicador.
- d) Reporte el PH del lodo aproximado a 0.5 ó a 0.2 unidades, según la escala de colores del papel indicador usado.

QUINTA ETAPA:

5. Determinación de las propiedades reológicas y tixotrópicas.

5.1 Equipo de medición empleado: Viscosímetro Fann (Fig. 9)

5.2 Viscosidad plástica, viscosidad aparente, punto de cedencia y gelatinosidad.

Para esto se tomaron las lecturas a 600, 300 y 3 RPM, de esta última sin tiempo de reposo y a 10 minutos de reposo.

5.2.1 Procedimiento.

a) Póngase en el vaso del equipo, 350 ml de una muestra representativa del lodo. Coloque el vaso en el soporte del viscosímetro y levántelo hasta que el rotor quede sumergido en el lodo hasta la marca grabada en dicho rotor.

Esta operación se efectúa con el rotor a 600 RMP.

b) Se espera a que se estabilice la escala que marca el valor del esfuerzo de corte y se anota la correspondiente lectura L600.

- c) Se cambia la velocidad a 300 RPM y se anota la lectura L300.
- d) Una vez efectuada la lectura a 300 RPM, se regresa a 600 RPM, se agita por espacio de 10 a 15 segundos para romper la gelatinosidad.
- e) Se para el motor y se espera a que se estabilice el lodo en el vaso.

Se enciende el motor y se cambia la velocidad a 3 RPM, se observa la lectura máxima en la escala, antes de romperse la gelatinosidad y se anota el valor como gelatinosidad inicial.

- f) Se apaga el motor y se deja el lodo en reposo durante 10 minutos.
- g) Se enciende el motor y se toma la lectura máxima, ésta corresponderá a la gelatinosidad a 10 minutos.
- h) Se reporta la viscosidad en cps.

El punto de cedencia y la gelatinosidad en $\frac{1 \text{ lb}}{100 \text{ pie}^2}$.

OBSERVACION: Siempre debe hacerse el cambio de engranes con el motor trabajando.

SEXTA ETAPA:

6. Determinación del enjarre y filtrado.

La prueba de filtrado, consiste en determinar la cantidad de líquido (fase continua del lodo) que se extrae de una muestra de lodo por medio de un filtro prensa a una presión de $100 \frac{lb}{pg}^2$, esta presión es proporcionada por una fuente de gas inerte para evitar una reacción con la muestra utilizada, en este caso, el gas de la fuente es nitrógeno.

La prueba se efectúa durante 30 minutos. El espesor de los sólidos que quedan retenidos en el papel filtro empleado, se denomina enjarre del lodo.

6.1 Equipo utilizado.

- Filtro prensa (Fig. 11)

6.2 Procedimiento.

- a) Verificar que todas las partes del filtro estén limpias y secas, que los empaques no estén desgastados o deformados.
- b) Sobre la base de la celda coloque un empaque, luego un cedazo, encima el papel filtro y en seguida otro empaque, enrosque la celda y llenela con lodo hasta 1/4" del borde superior, arme el filtro.

- c) Coloque una probeta graduada seca bajo el tubo de descarga de la celda para recibir el filtrado.

Cierre la válvula de purga y ajuste el regulador de presión para obtener $100 \frac{lb_2}{pg^2}$

- d) A los 30 minutos mida el volumen del filtrado en la probeta, - cierre la fuente de gas comprimido y el regulador de presión, abra la válvula de purga.
- e) Retire la celda del soporte, tire el lodo, desarmela y obtenga el papel filtro con el enjarre.
- f) Lave el enjarre con un chorro débil de agua y mida su espesor.
- g) Lave y seque todas las partes del filtro.
- h) Reporte el volumen del filtrado en centímetros cúbicos, indicando la presión de filtración empleada y la duración de la prueba en minutos, siendo el periodo de 30 minutos, según normas API.

El espesor del enjarre se reporta en milímetros, también pueden reportarse otras propiedades estimativas como dureza, textura, - flexibilidad, etc.

SEPTIMA ETAPA:

7. Determinación de las propiedades reológicas y tixotrópicas medidas a 60 grados centígrados.

7.1 Equipo utilizado:

- a) Viscosímetro Fann (Fig. 9)
- b) Termocopa
- c) Termómetro.

7.2 Procedimiento:

El procedimiento de medición, es el mismo que se describe en la Quinta Etapa, con la única variante de que en lugar de utilizar el vaso metálico para almacenar lodo, se utiliza la termocopa, ésta se conecta a la toma de corriente para que nos proporcione los 60 grados centígrados de temperatura deseados para llevar a cabo la prueba; ésta se aplicó únicamente al lodo bentonítico de $1.033 \frac{\text{gr}}{\text{cc}}$ y a los de densidad de 1.2 y 1.5 $\frac{\text{gr}}{\text{cc}}$.

Los lodos, a los cuales se les aplicó la prueba, son lodos sin tratar, tratados con dispersante y tratados con dispersante y aceite. Ver resultados Tablas (2, 4)

Esta prueba a 60°C, se hace con el fin de comparar el comportamiento de un lodo al aplicarle temperatura y observar su cambio en la reología.

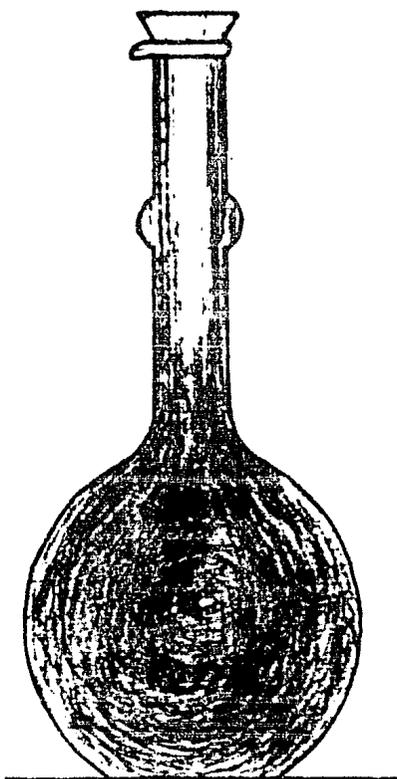


Fig. 12

CAPITULO VII

RESULTADOS

De acuerdo al análisis experimental efectuado a lodos de densidad 1.2, 1.5 y 1.8 $\frac{gr}{cc}$ sin tratar y tratados con CLS, CL y Diesel, se obtuvieron los siguientes resultados que se reportan a continuación por medio de - Tablas.

Tabla 1.- Contiene la cantidad de material densificante utilizado en - los sistemas formados; para llevar a cabo este cálculo, se - utiliza la Ecuación de Balance de Materia.

$$WB = \frac{V_i (P_f - P_i)}{1 - \frac{P_f}{P_B}}$$

Tabla 2.- Muestra los valores reológicos, tixotrópicos y de filtrado, obtenidos a temperatura ambiente y temperatura de 60°C, para un lodo bentonítico de 1.033 $\frac{gr}{cc}$.

Tabla 3.- Contiene los valores reológicos, tixotrópicos y de filtrado, para lodos de 1.2, 1.5 y 1.8 $\frac{gr}{cc}$ sin tratar y tratados, medidos a temperatura ambiente.

Tabla 4.- Indica los valores reológicos y tixotrópicos para lodos de densidad 1.2 y 1.5 $\frac{gr}{cc}$, medidos a 60°C de temperatura.

Tabla 5. Indica los valores de "K" y "n", para todos y cada uno de los lodos formados. Estos valores de K y n obtenidos de la Ley de Potencias, fueron calculados utilizando las siguientes ecuaciones:

$$n = 3.32 \log \frac{\text{Lect. } 600}{\text{Lect. } 300}$$

$$K = \frac{Pc + 2 Vp}{100 (1022)^n}$$

donde:

"n" Es una medida del grado de desviación del comportamiento de un flujo Newtoniano.

Si $n = 1$ El fluido es Newtoniano

$n > 1$ El fluido es Dilatante

$n < 1$ El fluido es Pseudoplástico.

"K" Es una medida de la viscosidad del fluido; entre mayor sea K, más viscoso será el fluido.

Dichos valores son a temperatura ambiente.

Tabla 6.- Muestra los valores de n y K obtenidos a una temperatura de 60°C para los lodos de 1.033, 1.2 y 1.5 de densidad.

TABLA 1

DENSIDAD DEL LODO $\frac{\text{gr}}{\text{cc}}$	PESO CALCULADO cc
1.2	116.46
1.5	361.32
1.8	666.4

TABLA 2

PROPIEDADES	TEMP. AMBIENTE	T = 60°C.
VP (CP)	9	2
Va (CP)	16.5	16
Pc ($\frac{Lb}{100 Ft^2}$)	15	28
GEL 0 ($\frac{Lb}{100 Ft^2}$)	14	9.5
GEL 10 ($\frac{Lb}{100 Ft^2}$)	17	10
FILTRADO (ml)	17	
ESPEJOR DE ENJARRE (mm)	1.5	

TABLA 3

LECTURA	$\rho = 1.2 \frac{gr}{cc}$			$\rho = 1.5 \frac{gr}{cc}$			$\rho = 1.8 \frac{gr}{cc}$			
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	D
VP	9	16	15.5	15	18	17	25	23	29	21.5
Va	24.5	18.5	20	40	24.5	23	67.5	26.5	33.5	27.25
Pc	31	5	9	50	13	12	85	7	9	11.5
GEL 0	27	6	9	41	7	12	60	12	11	9
GEL 10'	27	19	24.5	52	29	24	74.5	32	29	17
FILTRADO	15	13	9	20	16	13	21.7	9	8.5	34
ENJARRE	2	1.5	1	3	2.5	2	5	2	2	10

A = SIN DISPERSANTE

B = CON DISPERSANTE

C = CON DISPERSANTE Y ACEITE

D = CON MAYOR PORCENTAJE DE
DISPERSANTE.

TABLA 4

LECTURA	$\rho = 1.2 \frac{gf}{cc}$			$\rho = 1.5 \frac{gf}{cc}$		
	A	B	C	A	B	C
VP	3.5	7	7	5	8	5
Va	18.75	9	9	22.5	9	5.5
Pc	30.5	4	4	35	2	1
GEL 0	12	1	1.5	18	1	1
GEL 10'	15	4	4	24	1	4

TABLA 5

	$\rho =$	$\rho = 1.2$			$\rho = 1.5$			$\rho = 1.8$			
	A	A	B	C	A	B	C	A	B	C	D
n	0.459	0.292	0.816	0.706	0.299	0.66	0.655	0.295	0.820	0.817	0.723
K	0.013	0.064	0.0012	0.003	0.100	0.005	0.004	0.174	0.001	0.002	0.003

TABLA 6

	$\rho = 1.033$	$\rho = 1.2$			$\rho = 1.5$		
	A	A	B	C	A	B	C
n	0.093	0.141	0.710	0.710	0.169	0.847	0.873
K	0.167	0.141	0.001	0.001	0.139	0.0005	0.0002

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados experimentales obtenidos, se tienen las siguientes conclusiones:

1. El manejar un alto contenido de sólidos proporcionado por el material densificante, afecta el comportamiento reológico, tixotrópico y filtrante del sistema.
2. El espesor del enjarre aumenta al incrementarse el volumen de sólidos, en lodos de densidad mayor de $1.5 \frac{gr}{cc}$.
3. La incorporación de agentes dispersantes a los lodos, mejoró las propiedades reológicas, tixotrópicas y filtrantes, Tabla 3.
4. La incorporación del Diesel a los sistemas, mejoró aún más las propiedades mencionadas en el punto 3, Tabla 4.
5. El uso de agentes dispersantes como los cromolignosulfonatos y los cromolignitos en los sistemas, origina la formación de una capa de espuma, la cual se controla mediante antiespumantes compatibles para que no se afecten las propiedades reológicas, tixotrópicas y filtrantes de los lodos.

6. El empleo de estos materiales dispersantes redujo el espesor de los enjarres, haciéndolos plásticos e impermeables.
7. Los sistemas con tratamiento, presentan mayor estabilidad a la temperatura.
8. En lodos de mayor densidad, se observa que a medida que la temperatura aumenta, empiezan a manifestarse asentamientos.
9. El exceso en el tratamiento disminuye las propiedades reológicas, tixotrópicas y filtrantes de los lodos.
10. Los valores de "n" obtenidos para cada uno de los sistemas, son menores de 1, lo cual implica que se traten de fluidos pseudoplásticos.
11. Se observa que los valores obtenidos para "K" en los sistemas sin tratar, son mayores que para los tratados con dispersante y diesel, así como también a medida que se incrementa la densidad y como consecuencia de ello el volumen de sólidos, se incrementan también los valores de K.
12. Estos incrementos de "K" se ven afectados sustancialmente para lodos sin tratar al elevar la temperatura. Tabla 6.

BIBLIOGRAFIA

- Manual de Tecnología de Lodos.
IMP K/PI/47.
- Compendio de Fluidos de Perforación.
IMP K/PI/72.
- Norma de Calidad para la Barita
PEMEX-IMP 1/84
Proyecto: D-1201.
- Curso de Fluidos de Perforación
Reparación y Terminación de Pozos
para Ingenieros Petroleros de
Nuevo Ingreso a PEMEX.
- Fundamental Characteristics of Drilling Fluids
NL Baroid/1979.
- Composition and Properties of Oil Well.
Drilling Fluids.
Royers Walter F.
3a. Edición Gulf.
- Estudio de Abrasividad sobre los Materiales
Pesantes Forrobar y Barita.
Ashford Frank
2o. Congreso Latinoamericano de Perforación
México, Octubre/80
- Apuntes de Fluidos de Perforación
Facultad de Ingeniería.