

T  
622.3382  
B 425



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERIA  
EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**EFFECTOS DE LA PRESION Y TEMPERATURA  
EN EL VOLUMEN DE FILTRADO**

**PROYECTO DE GRADO  
PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE:**

**INGENIERO EN PETROLEO**

**PRESENTADO POR:**

**Arley Belalcázar Cobo**

**GUAYAQUIL - ECUADOR  
1990**

## AGRADECIMIENTO

Al ING. DANIEL TAPIA FALCONI,  
Director de grado, profesor y amigo,  
por su valiosa colaboración para  
lograr esta victoria.

Al ECUADOR, por haberme abierto sus  
puertas y permitido formarme como  
profesional en una gran institución  
como lo es la ESCUELA SUPERIOR  
POLITECNICA DEL LITORAL, para bien de  
la humanidad.

A mis HERMANOS, porque nunca me  
desampararon.

A mi cuñada Nancy, que ha sido como  
una madre.

A los hermanos Jorge y Juan Carlos  
Grisales y a Helga, amigos  
incondicionales e infalibles, porque  
siempre me ayudaron y han sido como  
mis hermanos.

A mis compañeros, amigos de siempre  
y para siempre.

## DEDICATORIA

A la memoria de mi PADRE  
Que me inculcó los sentimientos  
que siempre lo caracterizaron como  
hombre de bien, responsable y  
cumplidor de sus deberes.

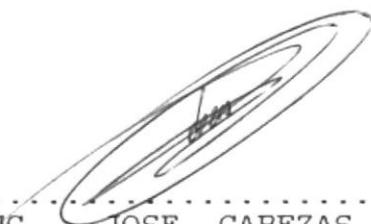
A mi hermano  
JOSE ELEYDER  
Mi gratitud eterna, porque  
continuó con abnegación la obra de  
mi Padre. Fué guía, protector y  
artífice de este nuestro primer  
triunfo.

A mi Madre  
MARIA INES COBO  
Porque supo infundir tanto en mi  
como en mis hermanos, el espíritu  
del deber y la responsabilidad.  
A ella dedicamos esta primera meta  
alcanzada.

A mi sobrina  
JENNIFFER LISSETTE  
y a mis futuros HIJOS  
para que sigan mi ejemplo.



ING. DANIEL TAPIA F.  
DIRECTOR DEL TOPICO



ING. JOSE CABEZAS  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



ING. FRANCISCO ANDRADE  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

## DECLARACION EXPRESA

" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en este Proyecto, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL "

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL)



.....  
ARLEY BELALCAZAR COBO

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es determinar experimentalmente el efecto de la presión y de la temperatura en la tasa de filtración en lodos base agua dulce, para lo cual se utilizó el filtro prensa de alta presión- alta temperatura (HP-HT).

Para los efectos de este trabajo se utilizaron dos tipos de arcilla, la Acuagel y la Ecuagel; a las cuales se le determinó su rendimiento. Los lodos preparados con ellas se sometieron a las pruebas de laboratorio correspondientes para determinar sus propiedades antes de realizar los análisis en el filtro prensa HP-HT. Dichas pruebas se efectuaron en los laboratorios de fluidos de perforación de la ESPOL y de PetroEcuador en Guarumo Oriente Ecuatoriano.

Con el fin de comparar resultados se utilizó el lodo del pozo SHUARA 13, al cual se le realizaron las mismas pruebas que a los lodos preparados en el laboratorio.

Finalmente se presentan las conclusiones y

recomendaciones acerca de las variaciones que experimenta el volumen de filtrado, características del enjarre y pH, en los lodos analizados.

## INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VIII
INDICE DE FIGURAS	X
INDICE DE TABLAS	XI
INTRODUCCION	12
CAPITULO I	14
PROPIEDADES IMPORTANTES DEL FLUIDO DE PERFORACION	14
1.1 Contenido de sólidos coloidales	14
1.2 Limpieza del fondo del agujero y desplazamiento de los cortes	15
1.2.1 Viscosidad efectiva de circulación	17
1.2.2 Viscosidad Marsh	17
1.2.3 Viscosidad Plástica	17
1.2.4 Punto cedente (Yield Point)	18
1.2.5 Resistencia de Gel (Gi/Gf)	18
1.3 Densidad	19
1.4 Filtrado y fragmentos atrapados en el fondo	22
CAPITULO II	27
FACTORES QUE AFECTAN LA TASA DE FILTRACION	27
2.1 Efecto del Tiempo	27
2.2 Efecto de la Presion	30

2.2.1 Enjarres compresibles	30
2.2.2 Enjarres incompresibles	30
2.3 Efecto de la Temperatura	33
CAPITULO III	37
PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	37
CAPITULO IV	40
PRUEBAS DE LABORATORIO	40
4.1 Lodo A	40
4.2 Lodo B	43
4.3 Lodo de campo	45
CAPITULO V	63
DISCUSION DE RESULTADOS	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
BIBLIOGRAFIA	72

## INDICE DE FIGURAS

No.	Pág.
1. RENDIMIENTO DE ARCILLA LODO A TABLA # 1	47
2. RENDIMIENTO DE ARCILLA LODO B TABLA # 2	48
3. TASA DE FILTRACION ESTATICA VS TEMPERATURA (LODO A) TABLA # 3	49
4. TASA DE FILTRACION ESTATICA VS PRESION (LODO A) TABLA # 4	50
5. TASA DE FILTRACION ESTATICA VS TEMPERATURA (LODO B) TABLA # 5	51
6. TASA DE FILTRACION ESTATICA VS PRESION (LODO B) TABLA # 6	52
7. TASA DE FILTRACION ESTATICA VS TEMPERATURA (LODO DE CAMPO) TABLA # 7	53
8. TASA DE FILTRACION ESTATICA VS PRESION (LODO DE CAMPO) TABLA # 8	54

## INDICE DE TABLAS

No.	Pág.
1. RENDIMIENTO DE LA ARCILLA AMERICANA (ACUAGEL)	55
2. RENDIMIENTO DE LA ARCILLA ECUATORIANA (ECUAGEL)	56
3. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL VOLUMEN DE FILTRADO (LODO A)	57
4. EFECTO DE LA PRESION EN EL VOLUMEN DE FILTRADO (LODO A)	58
5. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL VOLUMEN DE FILTRADO (LODO B)	59
6. EFECTO DE LA PRESION EN EL VOLUMEN DE FILTRADO (LODO B)	60
7. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL VOLUMEN DE FILTRADO (LODO DE CAMPO)	61
8. EFECTO DE LA PRESION EN EL VOLUMEN DE FILTRADO (LODO DE CAMPO)	62

## INTRODUCCION

Todas las operaciones de un equipo de perforación rotacional requieren la circulación de un fluido mientras se está abriendo el pozo.

Los primeros lodos de perforación, datan de 1914, cuando se definió como un lodo : " A una mezcla de cualquier arcilla, la cual queda suspendida en el agua por cierto tiempo" (3).

El fluido de perforación tuvo que reunir ciertas condiciones especiales, para obtener su objetivo principal, que es mejorar las condiciones de perforación.

La influencia de las variaciones en las diferentes propiedades de un lodo en su habilidad para cumplir las varias funciones en la perforación de pozos es completamente entendida en algunos casos y mal entendida en otros. Por ejemplo la función de la densidad del lodo en la contención de fluidos altamente presurizados es simple y bien conocida. Por otra parte, mientras el valor de baja filtración es ampliamente reconocido, rara vez es

posible determinar precisamente que tasa de filtración es requerida por el lodo para que pueda cumplir correctamente sus funciones (1).

Las condiciones del lodo se pueden obtener en cualquier momento usando pruebas estandarizadas. Dichas pruebas examinan las propiedades físicas y químicas del fluido y comparando estos valores con otros obtenidos anteriormente, se puede determinar el tratamiento a recomendar para mantener el lodo en condiciones óptimas.

La velocidad, eficiencia, seguridad y economía de la perforación, dependerán principalmente del comportamiento del fluido de perforación usado. Por lo tanto, es necesario dedicarle mayor atención al diseño y especificaciones tanto del sistema de lodo como del equipo que se va a emplear para recircularlo.

## CAPITULO I

### PROPIEDADES IMPORTANTES DEL FLUIDO DE PERFORACION.

#### 1.1 CONTENIDO DE SOLIDOS COLOIDALES.

Para obtener un beneficio completo de las técnicas de optimización es esencial conocer y controlar el tipo, concentración y distribución del tamaño de las partículas de los sólidos en los fluidos de perforación.

Las pruebas de perforación han demostrado que aunque todos los sólidos sean adversos al ritmo de penetración, las partículas menores de una micra son 12 veces más perjudiciales que las partículas más grandes.

En un fluido de perforación, los sólidos en suspensión, son en esencia las células que forman su sistema circulatorio, por lo que el contenido de sólidos, es una propiedad importante que debe controlarse.

En la práctica los sólidos de perforación pueden encontrarse de dos diferentes maneras:

- Sólidos agregados desde la superficie: De los cuales dependerán todas las propiedades que mencionaremos más adelante.
- Sólidos agregados por la formación: Son los sólidos generados por la barrena y retenidos en el lodo, son indeseables ya que afectan adversamente las propiedades primarias del fluido y necesitan la frecuencia y aumento de tratamientos en el sistema de circulación.

## 1.2 LIMPIEZA DEL FONDO DEL AGUJERO Y DESPLAZAMIENTO DE LOS CORTES

La eficiente limpieza del fondo del agujero y el desplazamiento de los cortes, son dos de los prerrequisitos para optimizar la perforación. La limpieza del fondo del agujero depende principalmente del flujo turbulento a través de la barrena. El transporte o desplazamiento efectivo de los cortes del agujero depende del perfil del flujo anular.

Las propiedades de viscosidad deseada para un fluido de perforación son: Proporcionar a éste la facilidad de impartir una óptima potencia hidráulica en la barrena; debe tener suficiente "viscosidad

efectiva" en el espacio anular para mantener el agujero limpio; debe de tener suficiente baja "viscosidad efectiva" para que el fluido se desprenda de los cortes al llegar a la superficie; y por último, tener suficiente gelatinosidad para mantener los cortes y el material pesado en suspensión cuando el fluido no está en movimiento.

En cualquier sistema de fluidos de perforación estas propiedades deben de analizarse y elegir los valores más adecuados para cada caso.

La viscosidad de un fluido es una medida de la resistencia interna al flujo. Se define también, como la relación Tensión de corte - Tasa ó Velocidad de corte, para un fluido determinado.

La viscosidad del lodo es función de muchos factores entre los cuales tenemos:

- 1) Viscosidad de la fase líquida
- 2) Volumen de sólidos en el lodo
- 3) Volumen de fluidos dispersos (emulsiones)
- 4) Número de partículas por unidad de volumen en el lodo
- 5) Forma y tamaño de las partículas sólidas
- 6) Atracción o repulsión entre:
  - a) Partículas sólidas

b) Sólidos y fase fluida

1.2.1 Viscosidad Efectiva de Circulación: Se define como la viscosidad aparente del fluido de perforación a una velocidad de corte dada bajo condiciones determinadas de presión y temperatura.

1.2.2 Viscosidad Marsh: Es una medida del tiempo en segundos, del escurrimiento de 1000 cc de lodo a través del embudo Marsh. Nos da una idea de las propiedades de viscosidad del lodo en el campo. Este valor es un indicador cualitativo de la viscosidad del lodo.

1.2.3 VISCOSIDAD PLASTICA: Es generalmente descrita como la parte de la resistencia al flujo causada por fricción mecánica dentro del fluido. Es afectada por los siguientes factores:

- 1) Concentración de sólidos
- 2) Tamaño y forma de partículas sólidas
- 3) Viscosidad de la parte fluida

Un aumento en la viscosidad plástica significa un aumento en el porcentaje volumétrico de sólidos, una reducción en el tamaño de las partículas sólidas, un cambio en la forma de

los mismos o una combinación de esos factores.

**1.2.4 PUNTO CEDENTE (YIELD POINT) ( $Y_p$ ):** Es la parte de la resistencia al flujo causada por las fuerzas de atracción entre partículas. Esta fuerza de atracción es consecuencia de las cargas eléctricas sobre la superficie de las partículas dispersas en la parte fluida. La magnitud de esa fuerza es función de:

- 1) El tipo de sólidos y las cargas eléctricas asociadas con ellos.
- 2) La cantidad de sólidos
- 3) La concentración iónica de las sales contenidas en la fase fluida del lodo.

**1.2.5 RESISTENCIA DE GEL ( $G_i/G_f$ ):** Cuando un lodo ha sido sometido a velocidad de corte cero o cercanas a cero durante cierto tiempo, el fluido tiende a desarrollar una estructura de gel rígida o semirígida. Esta propiedad se llama Tixotropía.

Para tener una idea del grado de tixotropía presentes en un lodo, se toman dos lecturas de Gel; la primera con 10 segundos de reposo del lodo ( $G_i$ ) y la segunda con 10 minutos de reposo ( $G_f$ ).

Un amplio margen entre la lectura inicial de gel y la lectura a los 10 minutos se denomina gel progresivo e indica acumulación de sólidos.

Si la lectura inicial (10 segundos) y la final (10 minutos) son elevadas, con pequeñas diferencias entre las dos, estamos ante un gel instantáneo, lo que indica floculación.

La resistencia de gel y el punto de cedencia son ambas medidas de las fuerzas de atracción en un sistema. La resistencia de gel mide las fuerzas de atracción estáticas, mientras el punto de cedencia mide las fuerzas de atracción dinámicas. El valor de resistencia de gel depende de:

- 1) Concentración en volumen de sólidos
- 2) Propiedades de superficies de sólidos
- 3) Cargas eléctricas envueltas en el sistema.

### 1.3 DENSIDAD.

La densidad del lodo es una propiedad expresada en términos de la masa por unidad de volumen (lb/pie<sup>3</sup>, lb/gal); también se conoce como peso de lodo.

La densidad del lodo se debe mantener en la mínima requerida para anular las presiones de la formación considerando además un pequeño factor de seguridad por los viajes de la tubería.

Las pruebas de perforación y los datos del campo han establecido que ha medida que la presión diferencial, entre el frente hidrostático y la formación aumenta, el ritmo de penetración disminuye drásticamente. Esta disminución se atribuye a un aumento en los esfuerzos de compresión de la roca matriz bajo presión y los efectos exagerados de la retención de fragmentos en el fondo.

Idealmente se desea que el lodo tenga una densidad tan baja como la del agua (8.33 lb/gal), para lograr óptimas velocidades de penetración y disminuir las pérdidas de circulación. Sin embargo, un lodo con densidad dos veces y media más de la del agua podrá ser necesario para prevenir y controlar un derrumbe ocasionado por formaciones delesnables.

Como sucede con otras propiedades del lodo, la habilidad para controlar eficazmente la densidad es el control de la naturaleza y el contenido de sólidos en el lodo. Esto depende de las formaciones perforadas, la velocidad de penetración, el equipo superfi-

cial de control de sólidos, el tipo de lodo utilizado, la calidad de los reactivos y la calidad del personal calificado para la perforación del pozo. Todos estos factores, con excepción de las formaciones perforadas, pueden ser controlados y mejorados.

**PRESION HIDROSTATICA:** Es la presión ejercida por una columna de fluido, a una profundidad vertical dada, que actúa en todas direcciones.

Para una densidad dada la presión hidrostática se puede obtener con las siguientes ecuaciones:

$$P.H.(Lb/pulg^2) = \text{Gradiente del lodo (Lb/pulg}^2/\text{pie)} * \text{Profundidad vertical (pies)}$$

$$P.H.(Lb/pulg^2) = 0.052 * \text{Densidad del lodo(Lb/gal)} * \text{Profundidad vertical(pies)}$$

$$P.H.(Kg/cm^2) = \text{Profundidad vertical(Mts)} * \text{Densidad del lodo(grs/cc)/10}$$

" La presión hidrostática es igual al gradiente de presión por la profundidad vertical del punto de interés."

La profundidad vertical utilizada en las formulas anteriores es la profundidad vertical verdadera (TVD), la cual se puede calcular con la siguiente expresi3n:

$$TVD = \text{Cos } \theta (UPM - UPV) + UPV$$

donde:

$\theta$  = ángulo de desviaci3n, no debe exceder a 3 grados por cada 100 pies para denominar el pozo vertical.

UPM = última profundidad medida

UPV = última profundidad verdadera.

La Barita (Sulfato de Bario:  $BaSO_4$ ), se usa fundamentalmente para aumentar o mantener la densidad del lodo. Tiene una densidad específica de 4.3 y con ella se pueden obtener densidades hasta de 22 Lbs/gal (165 Lbs/pie<sup>3</sup>).



BIBLIOTECA

#### 1.4 FILTRADO Y FRAGMENTOS ATRAPADOS EN EL FONDO

Cuando se quedan fragmentos atrapados en el fondo del agujero se crea en él una presi3n diferencial contraria, entre el frente hidrostático del lodo y la de la formaci3n.

Estos fragmentos no se pueden levantar inmediata-

mente del fondo, a menos que la presión diferencial que los retiene se elimine. El primer filtrado, es aquel que se encuentra anteriormente al enjarre, éste iguala la presión que se forma entre los fragmentos y la formación y por lo tanto elimina la presión diferencial, haciendo que los fragmentos se levanten inmediatamente del fondo.

Los fluidos de perforación cargados con partículas coloidales no muestran el primer filtrado y por lo tanto retardan el desplazamiento de los fragmentos de la formación hacia la superficie.

Entre las propiedades principales del lodo para llegar a su buen cometido, se encuentra el tratamiento para mantener el filtrado lo más bajo posible, para tener una buena estabilidad del agujero, disminuir la invasión del filtrado y el daño en los horizontes potencialmente productores.

La tasa de filtración afecta la estabilidad de las paredes del pozo, las cuales están sujetas a hinchamiento y degradación por filtración acuosa.

El tratamiento químico de lodos de agua dulce para proveer tasas de filtración moderadamente bajas consiste en agregar químicos para mejorar la dis-

persión de las arcillas. Para mejorar las tasas de baja filtración, materiales coloidales orgánicos son añadidos (almidón, gomas naturales y celulosas alteradas). En lodos que contienen grandes cantidades de Sal o Calcio o iones Magnesio, las arcillas están coaguladas y, como una consecuencia, la tasa de filtración es inconvenientemente alta; en tales lodos coloides orgánicos son de gran importancia (3).

Los lodos de perforación tienen la habilidad de sellar las formaciones permeables expuestas por la barrena debido a la creación de una delgada capa de lodo en las paredes del agujero denominada "Costra" o "Enjarre", la cual se presentará principalmente en aquellas formaciones que sean permeables, por lo cual se requerirá una permeabilidad baja del filtrado en la costra, para una prospera 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. Consistentemente el lodo invade las formaciones permeables si el enjarre no fué formado.

Entre los factores que influyen en la calidad y

temperatura ambiente.  
te 30 minutos a una presión de 100+5 psi y a una  
perforación que se recoge de un filtro prensa duran-  
"Volumen de la fase líquida continua de un fluido de  
Petróleo (API)", que define la filtración como:  
estandarizadas por el Instituto Americano del  
condiciones. Las condiciones estáticas han sido  
agua del fluido en la formación ocurre en ambas  
estático (sacando o metiendo tubería); la pérdida de  
en estado dinámico (mientras se perfora); o en estado  
Como el fluido de perforación en el pozo puede estar

tar la costra.  
determinar las propiedades óptimas que debe presen-  
materiales utilizados en el control de filtrado para  
distribución de las partículas de arcilla y los  
Se deben tomar en cuenta; además; el tamaño; forma y  
durante la perforación.

aditivos); sino también los encontrados en el pozo  
añadidos a éste en superficie (bentonita; barita;  
La costra está formada no sólo por los sólidos

- 1) Porcentaje de sólidos presentes en el lodo
  - 2) Tamaño de partículas sólidas
  - 3) Propiedades coloidales del lodo.
- espesor de la costra tenemos:

También pruebas de laboratorio en estado dinámico han sido idealizadas. Una técnica práctica que simule realmente el estado dinámico en pozos perforados no ha sido desarrollada.

La pérdida de agua estática es por definición el estado fijo frente a una formación permeable a través de un medio filtrante (costra).

En algunas áreas el nivel crítico de filtración se define por medio de las pruebas API a temperatura ambiente y presión diferencial de 100 psi, pero resultarían más exactas si se efectúan a condiciones API de 300 grados Fahrenheit y 500 psi, o bien simulando las condiciones promedio de temperatura y presión que existan en la formación de interés.

\* Las definiciones contenidas en este capítulo han sido tomadas básicamente de las referencias (3) y (5).

## CAPITULO II

### FACTORES QUE AFECTAN LA TASA DE FILTRACION

Se han realizado estudios extensos sobre los diversos factores que influyen en la tasa de filtración. Los resultados han dado un adelanto sobre el desarrollo y la comprensión de los aditivos para corregir la pérdida de filtrado.

El tiempo, la temperatura, la presión y las características de los sólidos del lodo son factores importantes.

#### 2.1 EFECTO DEL TIEMPO (5).

La relación entre filtración y tiempo es expresada por:

$$Q_w = K_1 t^{0.5} + e$$

Donde:

$Q_w$  : volumen de filtrado, cc

$t$  : tiempo, seg

e : pérdida inicial, cc

K' : constante, característica del lodo =  $\frac{K\sqrt{2}P^{0.5}R^{0.5}}{\mu^{0.5}}$

Expresado Teóricamente, el volumen de filtrado varía directamente con la raíz cuadrada del tiempo, y algunos lodos exhiben una pérdida inicial de líquido, antes de que la filtración se estabilice.

Esta relación es sólo una aproximación, puesto que se hace en la hipótesis de que la permeabilidad de la costra es constante.

Esta pérdida inicial se debe a que pequeñas partículas sólidas del lodo se alojan en los espacios porosos del medio filtrante, antes de que el taponamiento por partículas de tamaño adecuado ocurra.

Según la prueba estándar API, la prueba debe realizarse en 30 minutos, pero en el campo, es práctica común duplicar el volumen obtenido en 7 1/2 minutos y reportar como de 30 minutos. Este procedimiento se basa en la siguiente observación:

La ecuación siguiente se aplica a dos volúmenes de filtrado bajo las mismas condiciones, a dos tiempos diferentes, entonces:



$$\frac{V_{f1}}{\sqrt{t_1}} = \frac{V_{f2}}{\sqrt{t_2}} = K_t$$

$$\frac{V_{f1}}{V_{f2}} = \sqrt{\frac{t_1}{t_2}}$$

Luego:

$$V_{f1} = V_{f2} \sqrt{\frac{t_1}{t_2}}$$

Donde:

$V_{f1}$  = volumen de filtrado a  $t_1 = 30$  minutos

$V_{f2}$  = volumen de filtrado a  $t_2 = 7.5$  minutos

$$K_t = \frac{K\sqrt{2PR}}{\sqrt{\mu}} = \text{Constante}$$

Se tiene:

$$V_{f1} = V_{f2} \sqrt{\frac{30}{7.5}}$$

$$V_{f1} = 2V_{f2}$$

Quiere decir, que la prueba realizada durante 30 minutos, nos da el doble de la pérdida de fluido, que se obtendría en una prueba en 7.5 minutos, o sea que el volumen de filtrado que se obtendría en 7.5 minutos, se debe duplicar al reportarlo en el campo.

En la práctica, esta relación es proxímadamente verdadera, siempre y cuando el volumen de filtrado obtenido durante 7.5 minutos <sup>no</sup> sea mayor que 5 cc.

## 2.2 EFECTO DE LA PRESION

En una formación el factor que gobierna la relación Presión - Filtrado es la compresibilidad de la costra.

El enjarre formado por la pérdida de agua del fluido de perforación muestra un amplio rango de compresibilidades, dependiendo de la naturaleza y tamaño de los sólidos y el tipo de lodo que se esté usando. Resultan dos tipos de enjarres (costras) (3).

### 2.2.1 Enjarres Compresibles.

Los enjarres compresibles se volverán compactos a medida que la presión diferencial aumente, ocasionando una reducción de la permeabilidad del enjarre la cual reducirá el valor de la filtración a través de él.

### 2.2.2 Enjarres Incompresibles.

Los enjarres incompresibles pasan por insignificante reducción de la permeabilidad con incrementos de la presión diferencial; por lo tanto, la pérdida de fluido se incrementará con el incremento de la presión.

Debido a la forma de las partículas de la bentonita, ocasiona que el enjarre sea más compresible. Por otra parte los fluidos de perforación cargados con sólidos perforados y barita mostrarán menos compresibilidad. Por esta razón es esencial que el contenido de sólidos en un fluido de perforación sea valorado en términos de sólidos perforados de baja densidad, de alta densidad y arcilla bentonítica.

Una prueba práctica para observar los efectos de la presión en la compresibilidad en la costra y la pérdida de agua de un lodo puede hacerse en el campo usando un aparato de filtrado alta temperatura - alta presión (HT-HP).

El procedimiento se simplifica verificando la pérdida de agua de dos muestras de lodo a la misma temperatura y una al doble de presión. Una disminución en la pérdida de agua al aumentar la presión indicará un enjarre compresible debido a su propio control de sólidos y a la concentración de bentonita. Un brusco incremento en la pérdida de agua al aumentar la presión indicará un enjarre relativamente incompresible, ya sea debido a la alta concentración de sólidos o debido a la falta de bentonita en el lodo de perforación (3).

Un aumento de presión produce un aumento en la viscosidad, aunque éste efecto es más notable a presiones considerablemente altas.

Si la costra es incompresible, la velocidad de filtración varia con la raíz cuadrada de la presión, esto implica que la permeabilidad de la misma no es afectada por la presión. La compresibilidad de la costra depende del tipo, tamaño, forma y distribución de los sólidos en ella.

Según la ecuación que rige la pérdida de agua a través de un medio filtrante:

$$\frac{dQ_w}{dt} = \frac{K^2 P R}{U Q_w} \quad (5).$$

Donde:

$Q_w$  : volumen de agua, cc

$t$  : tiempo, seg

$K$  : constante característica del lodo

$P$  : presión diferencial, psi

$R$  : relación entre volumen de agua y volumen de sólidos

$u$  : viscosidad del filtrado, cps

En esta ecuación podemos apreciar que la pérdida de agua varia directamente con la raíz cuadrada de la

presión, esto es:

$$Q_w = K_1 P^{0.5}$$

$$\text{ó } Q_w = \log K + 0.5 \log P$$

donde:

$Q_w$  : volumen de filtrado, cc

$K_1$  : constante para un lodo dado  $= \frac{K\sqrt{2Rt}}{\sqrt{\mu}}$

$P$  : presión, psi

La ecuación es lineal en  $\log Q$  y  $\log P$  y aparece como una línea recta al graficar en papel log-log., obteniéndose que la pendiente de la curva es diferente para lodos diferentes y es representada en la ecuación por la constante  $K$  (5).

### 2.3 EFECTO DE LA TEMPERATURA .

Un aumento de la temperatura eleva la velocidad de filtración porque generalmente, la viscosidad del petróleo o del agua en la fase continua del lodo se reduce y, también porque la alta temperatura produce cambios químicos en el lodo (5).

El incremento de la pérdida de fase líquida, debida a la disminución de la viscosidad del filtrado será un incremento demasiado palpable en formaciones permeables.

El efecto de la temperatura sobre la interacción de los sólidos y de los reactivos químicos empleados es evidente aún para pruebas de baja presión y temperatura, razón por la cual, los resultados obtenidos deberán de reportarse a la temperatura en que se hizo el análisis.

Las limitaciones a altas temperaturas de varios aditivos son propiedades físicas, inherentes de los mismos, los cuales limitan su aplicación a los sistemas de lodos formulados.

En particular, la solubilidad de los contaminantes que producen floculación aumenta y la eficacia de muchos aditivos para control de pérdida de filtrado y de los dispersantes disminuye a temperaturas altas.

La temperatura afecta el lodo substancialmente disminuyendo su viscosidad plástica al ser menor la viscosidad de la fase líquida.

Respecto a la ecuación que rige la pérdida de agua:

$$Q_w = \frac{K\sqrt{PRT}}{\sqrt{u}}$$

Si mantenemos constantes los parámetros a excepción de la viscosidad, nos queda (5) :

$$Q_w = \frac{K_2}{\sqrt{\mu}} \quad (5).$$

donde:

$$K_2 = K\sqrt{2PRt}$$

Se puede concluir que la relación entre el volumen de filtrado y la viscosidad es inversa.

Algunos reactivos empleados en el fluido de perforación se degradan a las siguientes temperaturas:

- Polímero X-C : Es un viscosificante, su temperatura máxima de trabajo es de 250 °F.
- Celulosa Drispac: Reductor de pérdida de agua, su degradación ocurre a los 300 °F.
- Carboximetil celulosa de Sodio (CMC) : Reductor de pérdida de agua, Se degrada a 250 °F.
- Pirofosfato de Sodio Acido (SAPP) : Para reducir viscosidad, se degrada a los 150 °F
- Extracto de Quebracho (65% de Tanino) : Es un adelgasador químico, se usa hasta 250 °F, con Lignito controla la pérdida de agua.
- Los lignitos utilizados para controlar la filtración, son estables arriba de los 400 °F.
- Lignosulfonatos de sodio modificados en combinación con los lignitos modificados son también

usados para el control de las propiedades del fluido a altas temperaturas.

- El CHEMTROL-X, es utilizado para minimizar el efecto adverso de la temperatura, además es un producto muy efectivo para reducir filtrado y alta presión. También para mantener las propiedades reológicas aún en contacto con temperaturas de 350 °F por largos periodos de tiempo (6).

## CAPITULO III

### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Previo a la preparación de las muestras de lodo, es necesario establecer una relación entre las unidades de laboratorio de fluidos de perforación y de campo, para trabajar de manera adecuada.

- 1 barril de fluido en el campo, en el laboratorio será 350 cc del mismo fluido.
- 1 libra de aditivo en el campo corresponde a 1 gramo del mismo aditivo en el laboratorio.

De esta manera al hablar de libras por barril corresponde a una concentración obtenida en el laboratorio gramos por cada 350 cc de fluido.

Se utilizarán dos tipos de arcilla en la preparación de los lodos base agua dulce:

- Lodo A : Bentonita Americana (Acuagel).
- Lodo B : Bentonita Ecuatoriana (Ecuagel).

Primeramente se procederá a determinar el rendimiento de

las dos arcillas, a utilizar en las pruebas de laboratorio.

Los constituyentes de los lodos a preparar son:

- Agua
- Arcilla
- Q-Broxin (Lignosulfonato de Cromo)
- Soda Cáustica (Hidróxido de Sodio)
- Barita (Sulfato de Bario)
- CMC (Carboximetil Celulosa de Sodio)

Con las concentraciones adecuadas de los aditivos especificados se procede a efectuar las pruebas correspondientes con los siguientes equipos:

- Viscosímetro FANN
- Balanza de lodo
- Filtro prensa API
- Retorta
- Embudo Marsh.

Seguidamente en el filtro prensa de alta presión - alta temperatura (HP-HT), se efectúan las pruebas de filtrado bajo las siguientes especificaciones:

1) A presión constante de 100  $\pm$  5 psi.:

Se varía la temperatura de 75 - 100 - 150 - 200 - 250 °F.

2) A temperatura constante de 100 °F.:

Se varía la presión de 100 - 200 - 300 - 400 - 450 psi.

3) Una prueba estándar a 300 °F y 500 psi.

Finalmente se realizan los graficos correspondientes de:

1) Temperatura versus cc de filtrado.

2) Presión versus cc de filtrado.

## CAPITULO IV

### PRUEBAS DE LABORATORIO

#### 4.1 LODO A

Composición inicial: 22.5 lbs de Acuagel por bbl de agua.

Despues de hidratar por más de 12 horas presentaba las siguientes propiedades:

-Vf = 13.0 cc, la costra es gruesa y nada compacta.

-pH = 7.0

-Vp = 12 cps

- Va = 17.5 cps

- Y.P.= 11 Lbs/100 pies<sup>2</sup>

- Geles = 2/14

- Contenido de arena = 0.2 %

- % de sólidos = 1.0 %

- V embudo = 40 seg.

- Densidad = 8.68 lpg

Barita requerida para aumentar el peso a 10 lpg = 77

lbs/bbl

Con los otros aditivos la composición es:

22.5 lbs Acuagel + 1.0 lb Q-Broxin + 0.5 lbs Soda  
Cáutica + 77 lbs de Barita + 1.0 lb de CMC

Las propiedades ahora son:

- Vf = 8.4 cc, la costra es delgada y un poco compacta.
- pH = 9.0
- Vp = 14 cps
- Va = 17.5 cps
- Y.P. = 7.0 lbs/100 pies<sup>2</sup>
- Geles = 3/16
- Contenido de arena = 1.4%
- % de sólidos = 10%
- V embudo = 45 seg.
- Densidad = 9.8 lpg



Para bajar el volumen de filtrado se agrega 1.0 lb más de CMC y 0.5 lbs más de Soda Cáutica para incrementar aún más el pH, obteniéndose las siguientes propiedades:

- Vf = 5.8 cc, costra de espesor = 1/32", compacta y flexible.
- pH = 11.0
- Vp = 22 cps

- $V_a = 28.5$  cps
- Y.P. = 13 lbs/100 pies<sup>2</sup>
- Geles = 4/38
- Contenido de arena = 1.5 %
- % de sólidos = 10 %
- V embudo = 75 seg.
- Densidad = 9.8 lpg

En vista que la viscosidad de embudo y la relación de geles se incrementó se decidió agregar 1.0 lb más de Q-Broxin, además agregar más Barita para obtener un peso entre 10.0 y 10.5 lpg, la composición y propiedades ahora son:

22.5 lbs Acuagel + 2.0 lbs Q-Broxin + 1.0 lb Soda Cáustica + 120 lbs Barita + 2 lbs CMC

- $V_f = 5.8$  cc (obtenido a 30 minutos, a los 7.5 minutos fue de 4.8 cc), la costra es delgada = 1/32", compacta y flexible.
- pH = 10.5
- $V_p = 23$  cps
- $V_a = 31$  cps
- Y.P. = 16 lbs/100 pies<sup>2</sup>
- Geles = 3/21
- Contenido de arena = 1.5 %
- % de sólidos = 12 %
- V embudo = 55 seg.

- Densidad = 10.3 lpg
- Prueba de dureza determinó ppm de Ca++ = 120.0

Habiendo obtenido el lodo con la composición adecuada, se procede a efectuar las pruebas en el filtro prensa HP-HT.

El volumen de filtrado a 500 psi y 300 °F fué:

- Vf = 7.6 cc
- pH = 7.0
- La costra gruesa, poco compacta, quebradiza y poca adherencia.

#### 4.2 LODO B

Composición inicial: 22.5 lbs de Ecuagel por bbl de agua.

Después de hidratar por más de 12 horas, presentaba las siguientes propiedades:

- Vf = 12.8 cc, la costra es gruesa y poca compacta.
- pH = 7.0
- Vp = 10.0 cps.
- Va = 14.5 cps.
- Y.P. = 9.0 lbs/100 pies<sup>2</sup>
- Geles = 6/10
- Contenido de arena = 0.3 %

- % de sólidos = 1 %
- V embudo = 40 seg.
- Densidad = 8.6 lpg.

La Barita requerida para incrementar el peso a 10.0 lpg = 82.0 lbs/bbl; al comprobar en la balanza de lodos la densidad fué= 9.75 lpg, por lo tanto se decidió agregar 45.0 lbs más, para obtener un peso entre 10.0 y 10.5 lpg. Seguidamente se agregaron: 2.0 lbs de Q-Broxin, 1.0 lb de Soda Cáustica y 1.0 lb de CMC; con estas concentraciones se determinó una viscosidad de embudo de 70.0 seg., por lo tanto se agregó 0.5 lbs más de Q-Broxin; entoces la composición y propiedades obtenidas son:

22.5 lbs de Ecuagel + 2.5 lbs de Q-Broxin + 1.0 lb de Soda Cáustica + 127 lbs de Barita + 1.0 lb de CMC.

- Vf = 6.2 cc (obtenida a 30 minutos, a los 7.5 minutos era de 5.8 cc), la costra es delgada, compacta pero no flexible.
- pH = 9.0
- Vp = 31 cps.
- Va = 39.5 cps.
- Y.P. = 17 lbs/100 pies<sup>2</sup>
- Geles = 3/17
- Contenido de arena = 2.5 %
- % de sólidos = 12 %

- V embudo = 60 seg.
- Densidad = 10.4 lpg.
- La prueba de dureza determinó: ppm Ca++ = 120.0

Habiendo obtenido la composición adecuada, se procede a efectuar las pruebas de filtrado en el filtro prensa de HP-HT.

- El volumen de filtrado a 500 psi y 300 °F fué:
  - Vf = 8.0 cc
  - PH = 7.0
- La costra muy gruesa, compacta y quebradiza.

#### 4.3 LODO DE CAMPO

El lodo de campo correspondió a una muestra del fluido utilizado en el pozo Shuara 13 cuya profundidad total fué 9400 pies alcanzada el 12 de Enero de 1990.

Presentaba la siguiente composición:

Arcilla Acuagel + arcilla Ecuagel + Soda Cáustica + Unical + CMC + Barita + Drispac (agregado después de los 7000 pies).

Las propiedades durante la perforación se mantuvieron en los siguientes rangos:

- Vf = entre 4.2 y 4.8 cc, la costra de espesor 1/32" y compacta.
- pH = 8.5
- Vp = entre 15 y 20 cps.
- Y.F. = entre 13 y 15 lbs/100 pies<sup>2</sup>
- Geles = 4/23
- Contenido de arena = 1.0 %
- % de sólidos = 10 %
- V embudo = entre 48 y 54 seg.
- Densidad = entre 10 y 10.5 lpg.
- Dureza = 100 ppm Ca<sup>++</sup>

El filtrado a 500 psi y 300 °F fué:

- Vf = 8.4 cc, costra muy gruesa pero compacta.
- pH = 7.0

A este lodo también se le efectuaron las pruebas de variación de filtrado con presión y temperatura.



## RENDIMIENTO DE ARCILLA LODO A

$$Y = (5.71/X) - 3.42 \text{ BBIS/TON. } X = 0.073$$

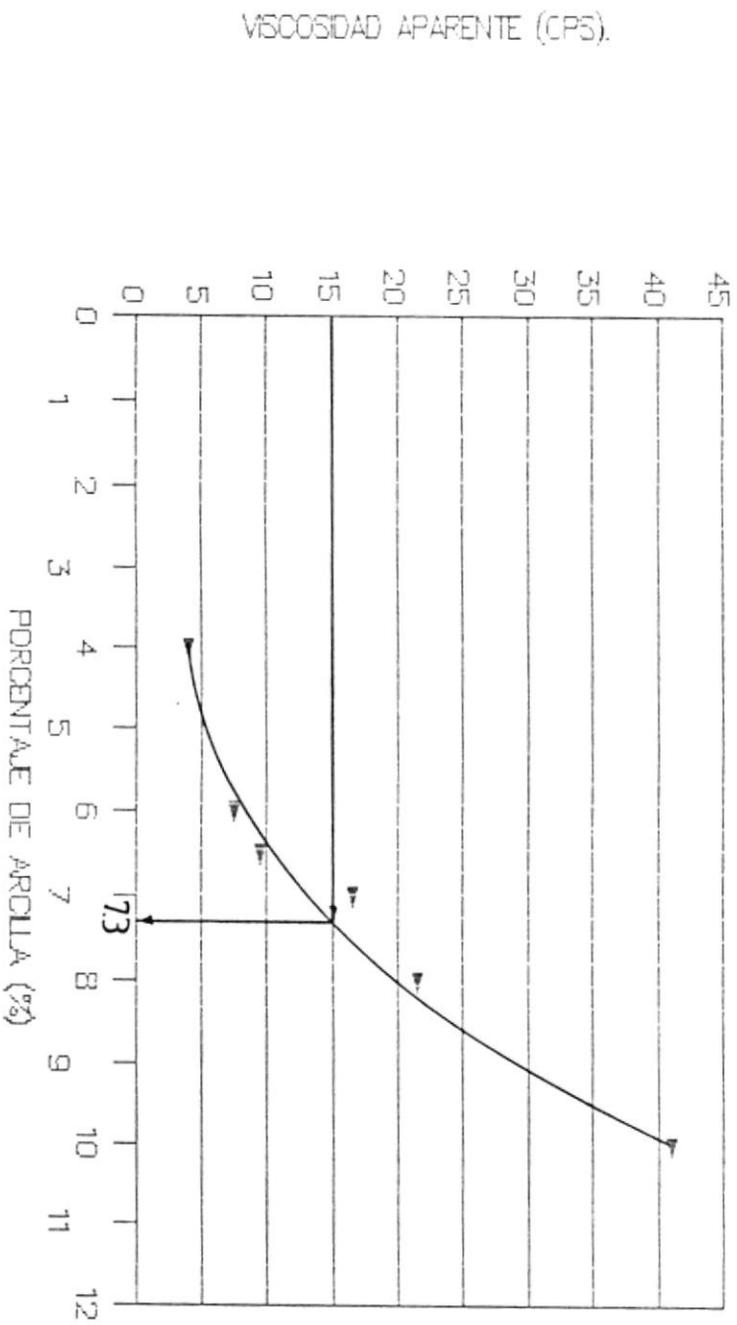


Fig-1

## RENDIMIENTO DE ARCILLA LODO B

$$Y = (5.71/X) - 3.42 \text{ BBLS/TON. } X = 0.074$$

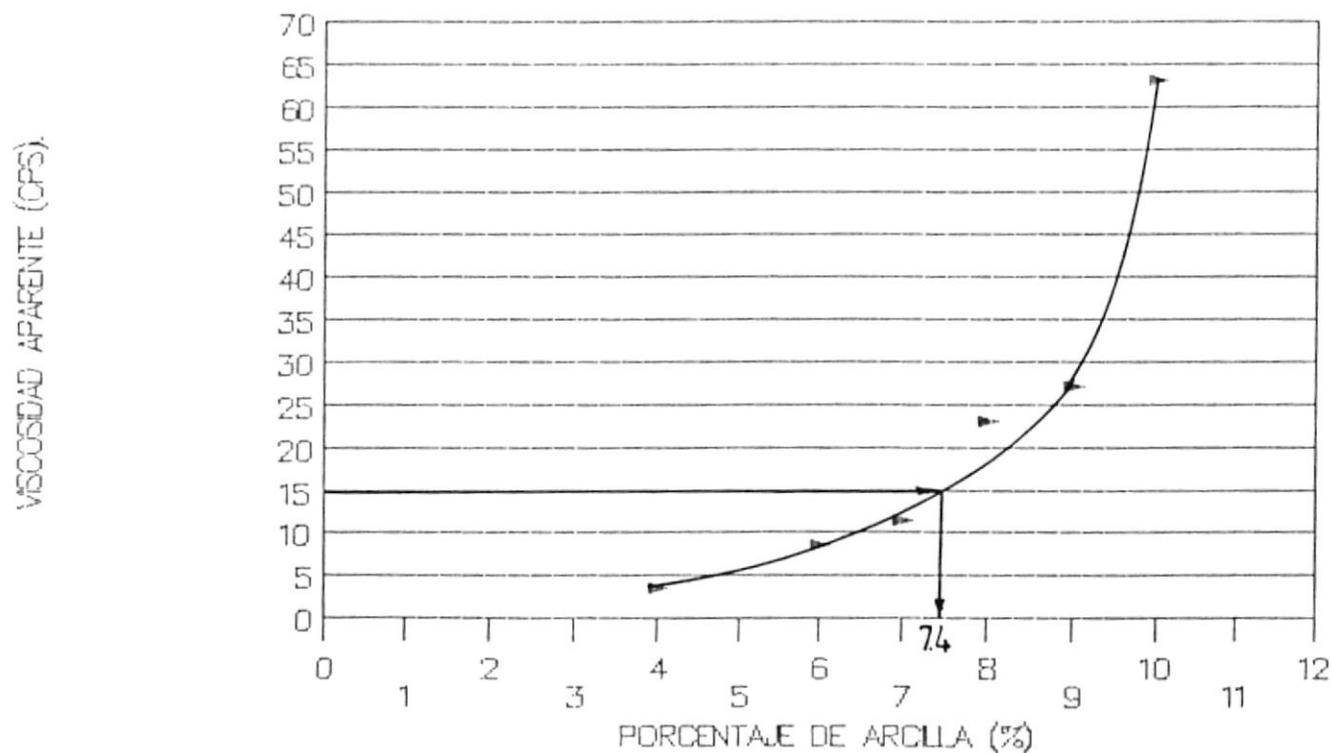


Fig. 2



# TASA DE FILTRACION ESTATICA VS TEMPERATURA (LODO A)

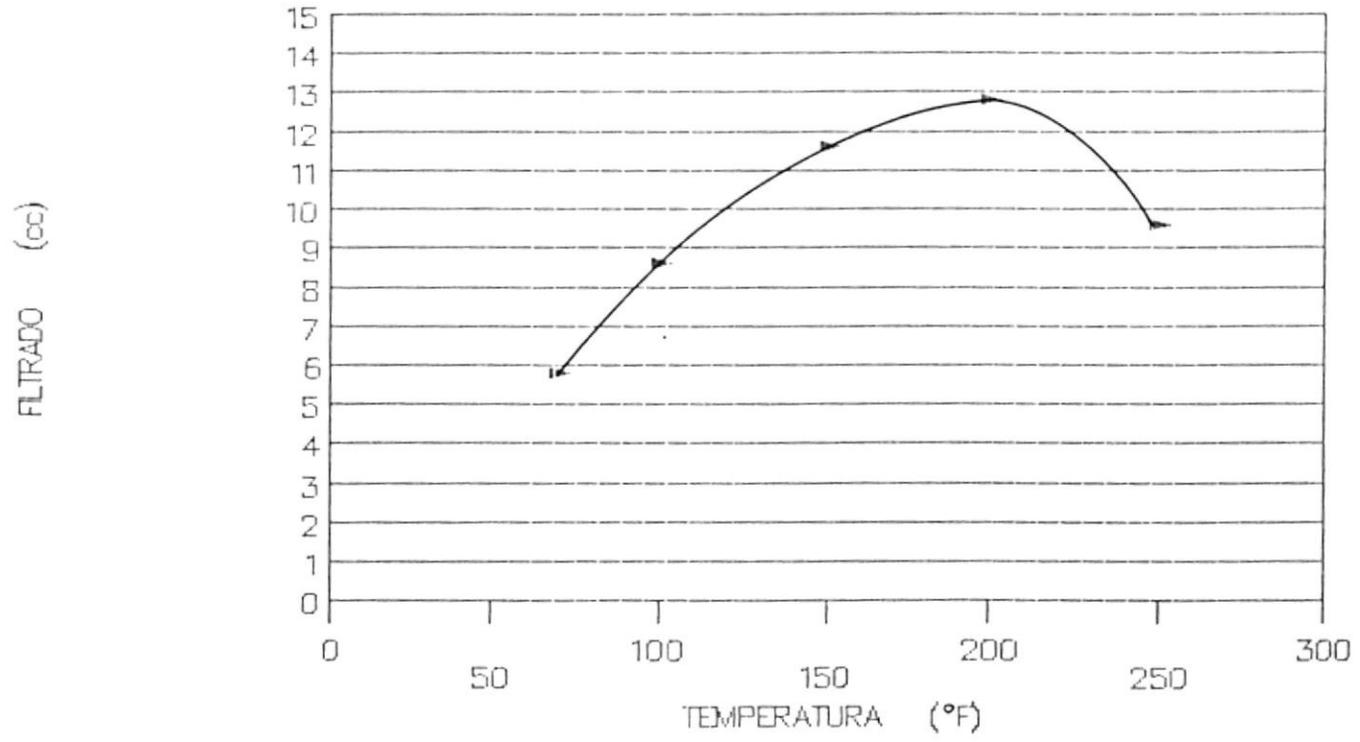


Fig. 3

# TASA DE FILTRACION ESTATICA VS PRESION (LODO A)

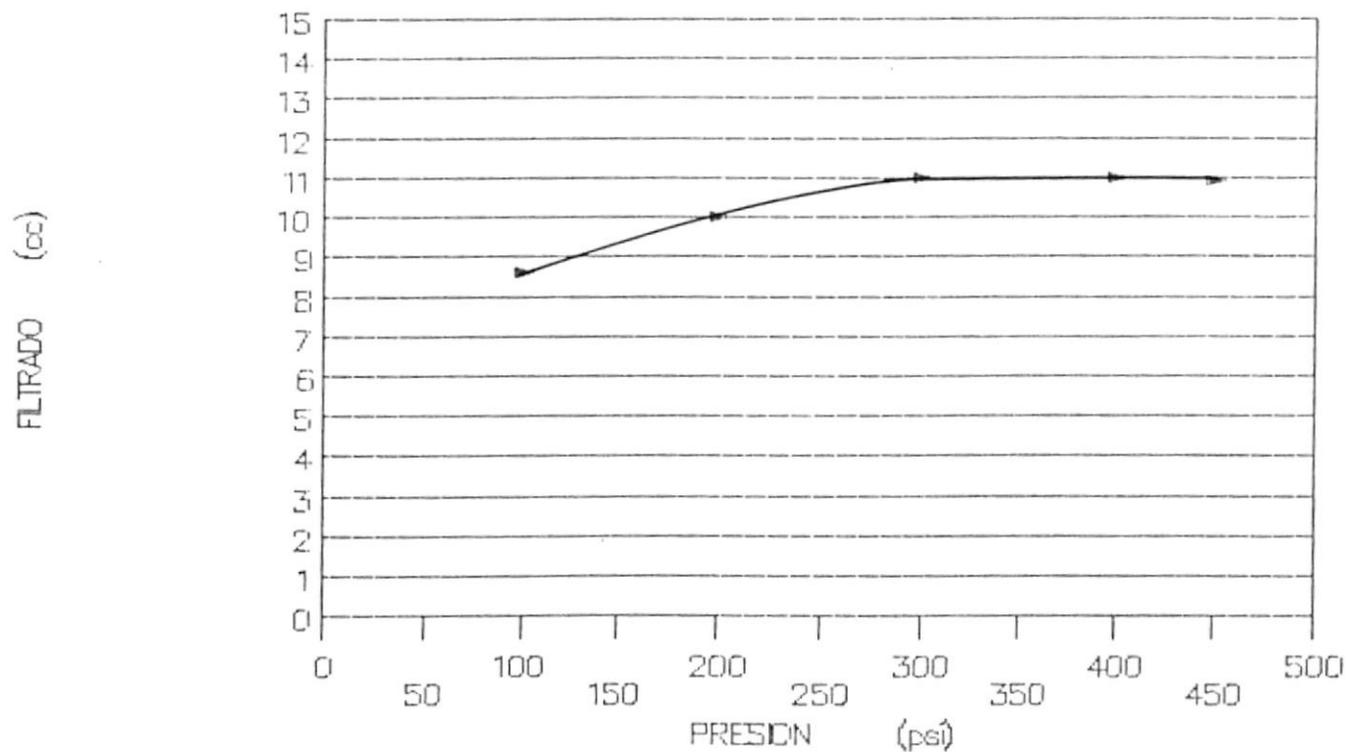


Fig. 4

# TASA DE FILTRACION ESTATICA VS TEMPERATURA (LODO B)

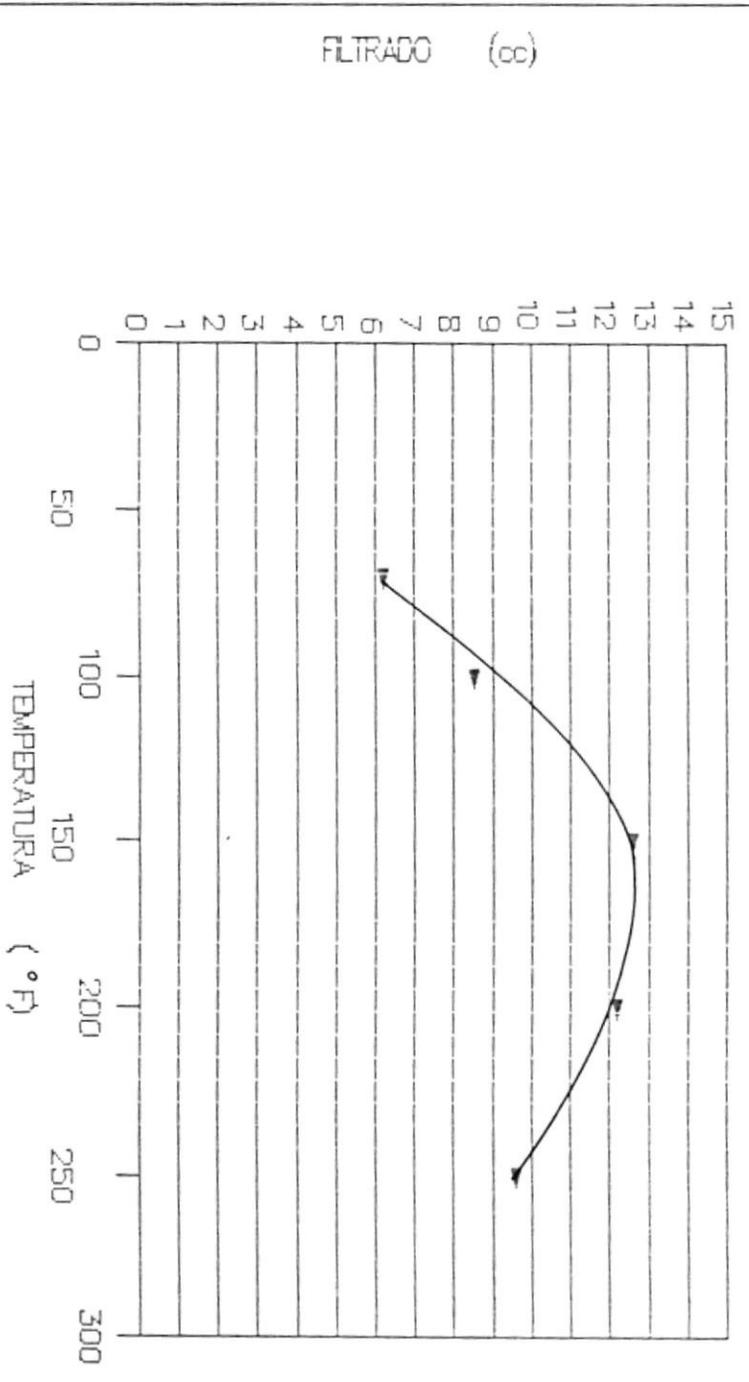


Fig. 5

# TASA DE FILTRACION ESTATICA VS PRESION (LODO B)

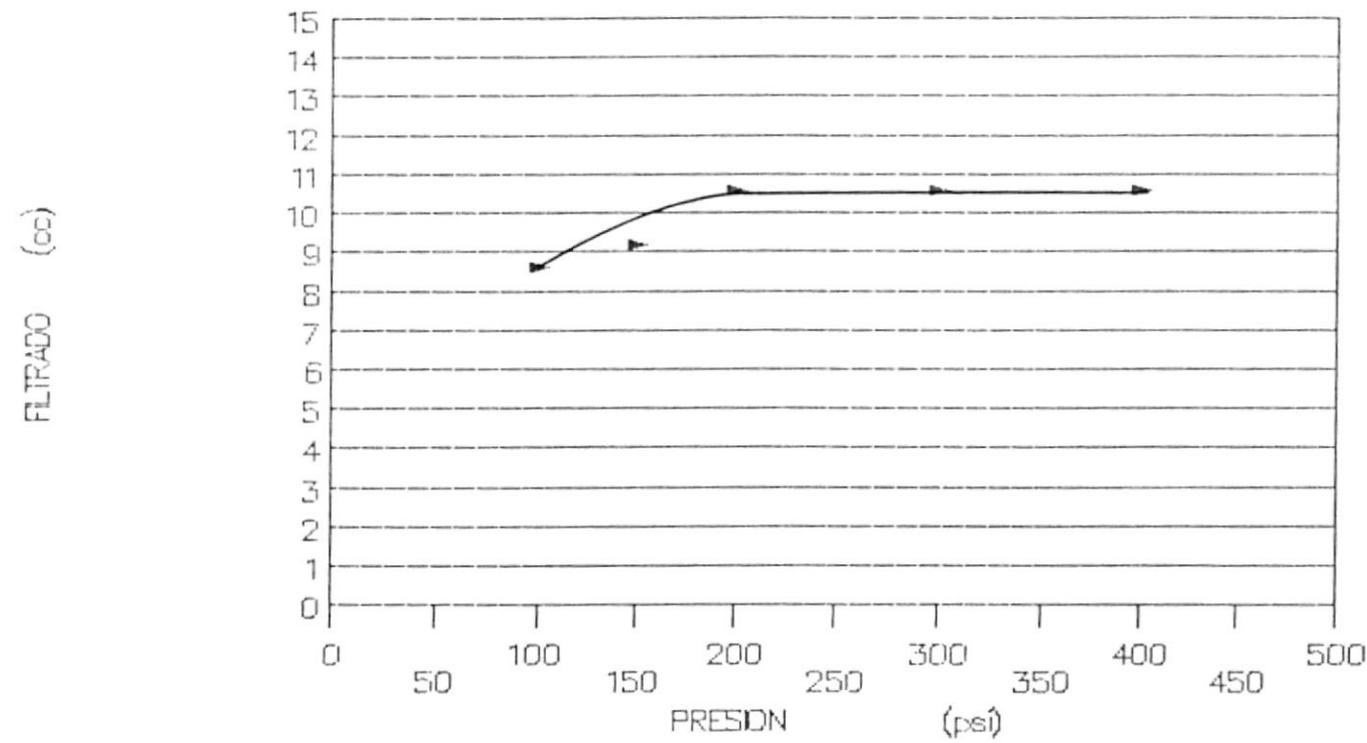


Fig. 6

# TASA DE FILTRACION ESTATICA VS TEMPERATURA (LODO DE CAMPO)

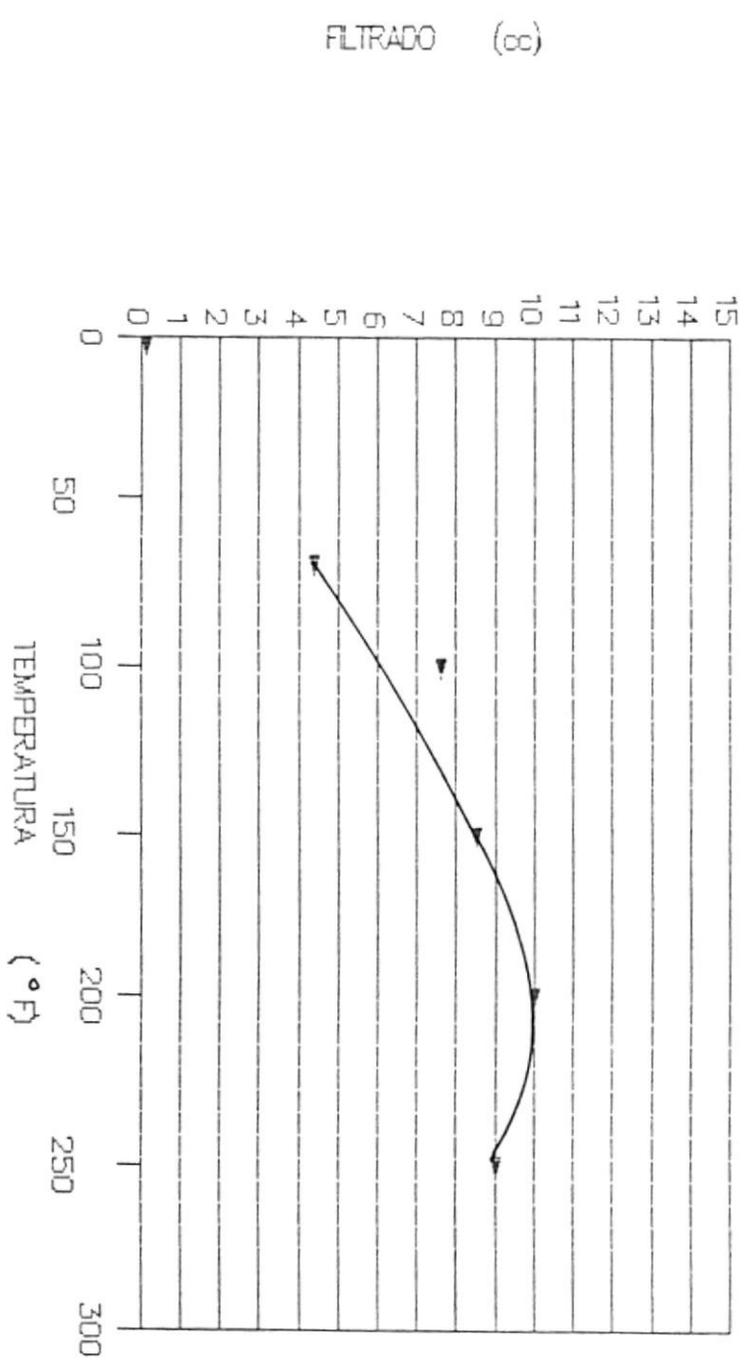


Fig. 7



BIBLIOTECA

# TASA DE FILTRACION ESTATICA VS PRESION (LODO DE CAMPO)

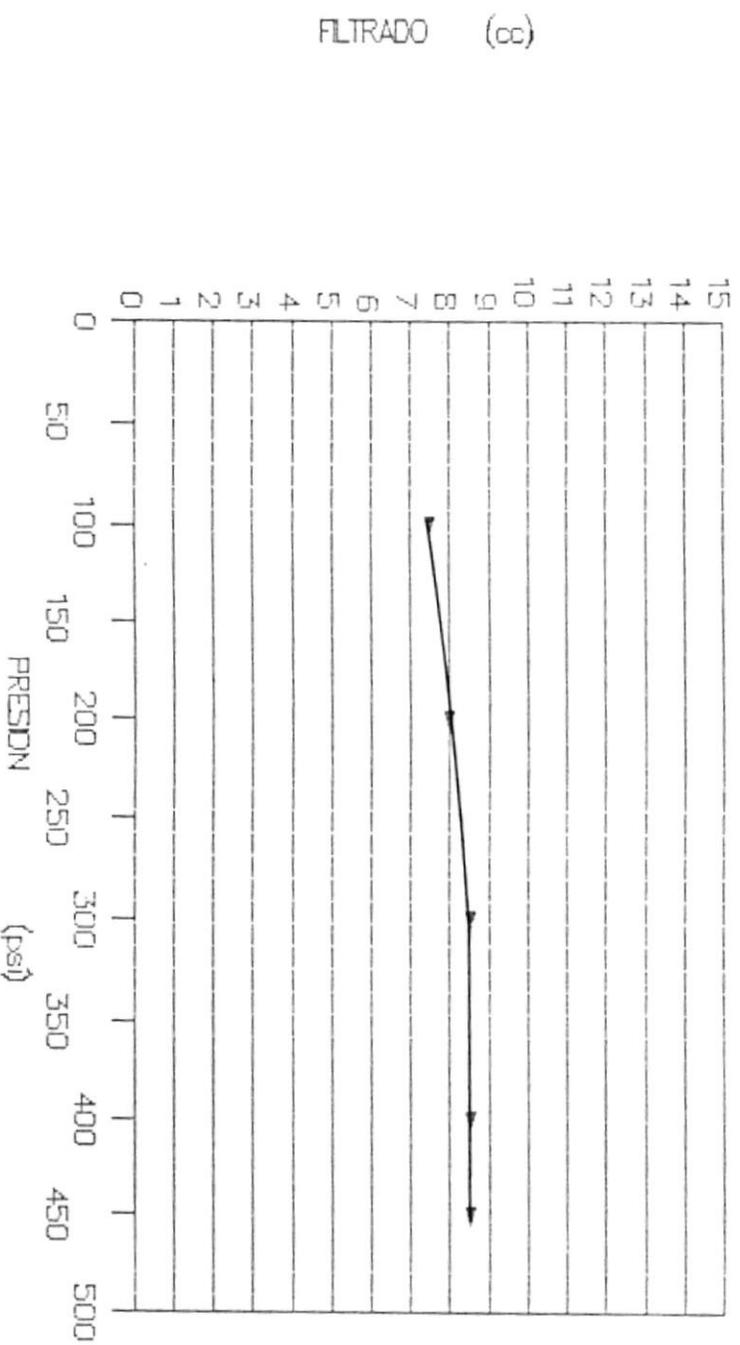


Fig. 8

RENDIMIENTO DE LA ARCILLA AMERICANA (ACUAGEL)

TABLA # 1

PORCENTAJE %  
 CANTIDAD gramos  
 LECTURA 600 RPM  
 VISCOSIDAD APARENTE CPS

4	14	8	4
6	21	15	7.5
6.5	22.5	19	9.5
7	24.5	33	16.5
8	28	43	21.5
10	35	82	41

TABLA #2

RENDIMIENTO DE LA ARCILLA ECUATORIANA (ECUAGEL)

PORCENTAJE %	CANTIDAD gramos	LECTURA 600 RPM	VISCOCIDAD APARENTE CPS
4	14	7	3.5
6	21	17	8.5
7	24.5	23	11.5
8	28	46	23
9	31.5	54	27
10	35	126	63

TABLA #3

EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL VOLUMEN DE FILTRADO (LODO A)  
 $P = 100 \pm 5 \text{ psi}$

TEMPERATURA F	VOLUMEN DE FILTRADO cc	PH	CARACTERISTICAS DE LA COSTRA
70	5.8	10.5	DELGADA Y COMPACTA
100	8.6	9.5	COMO LA ANTERIOR
150	11.6	8.5	GRUESA
200	12.8	8.5	GRUESA
250	9.6	7.5	MUY GRUESA

TABLA #4

EFFECTO DE LA PRESION EN EL VOLUMEN DE FILTRADO (LODO A)  
T= 100 F

PRESION PSI	VOLUMEN DE FILTRADO cc	PH	CARACTERISTICAS DE LA COSTRA
100	8.6	9.5	DELGADA Y COMPACTA
200	10	10	COMO LA ANTERIOR
300	11	10	COMO LA ANTERIOR
400	11	10	COMO LA ANTERIOR
450	10.9	10	COMO LA ANTERIOR

TABLA #5

EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL VOLUMEN DE FILTRADO (LODO B)  
 P = 100 +/- 5 psi

TEMPERATURA F	VOLUMEN DE FILTRADO cc	PH	CARACTERISTICAS DE LA COSTRA
70	6.2	9	DELGADA Y COMPACTA
100	8.5	8.5	GRUESA
150	12.6	8.5	MAS GRUESA
200	12.2	7.5	MUY GRUESA
250	9.6	7.5	MUY GRUESA



TABLA #6

EFFECTO DE LA PRESION EN EL VOLUMEN DE FILTRADO (LODO B)  
T = 100 F

PRESION PSI	VOLUMEN DE FILTRADO cc	PH	CARACTERISTICAS DE LA COSTRA
100	8.6	8.5	GRUESA
150	9.2	8.5	COMO LA ANTERIOR
200	10.6	8.5	MRS GRUESA
300	10.6	8.5	COMO LA ANTERIOR
400	10.6	8.5	MUY GRUESA



TABLA #7

EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL VOLUMEN DE FILTRADO (LODO DE CAMPO)  
P = 100 +- 5 psi

TEMPERATURA F	VOLUMEN DE FILTRADO cc	PH	CARACTERISTICAS DE LA COSTRA
70	4.4	8.5	DELGRDA Y COMPACTA
100	7.6	8	DELGRDA Y COMPACTA
150	8.5	7.5	COMO LA ANTERIOR
200	10	7	GRUESA
250	9	7	MUY GRUESA

TABLA #8

EFFECTO DE LA PRESION EN EL VOLUMEN DE FILTRADO (LODO DE CAMPO)  
 T = 100 F

PRESION PSI	VOLUMEN DE FILTRADO cc	PH	CARACTERISTICAS DE LA COSTRA
100	7.5	8	DELGADA Y COMPACTA
200	8	8	COMO LA ANTERIOR
300	8.5	8	COMO LA ANTERIOR
400	8.5	8	COMO LA ANTERIOR
450	8.5	8	COMO LA ANTERIOR

## CAPITULO V

### DISCUSION DE RESULTADOS

En los lodos preparados fué necesario incrementar el peso con la adición de Sulfato de Bario (Barita), a valores óptimos para no tener inconvenientes en la perforación de un pozo. Asi mismo se agregó Carboximetil Celulosa de Sodio (CMC), para disminuir la pérdida de filtrado; Hidróxido de Sodio (soda cáustica), con el fin de tener un pH en el rango alcalino y un Lignosulfonato modificado (Q-Broxin), con el objetivo de tener rangos de viscosidades óptimas para mejorar las condiciones de perforación.

La figura # 1 (valores de la tabla # 1), representan el rendimiento de la arcilla Americana (Acuagel), en dicha curva se observa que la viscosidad aparente de la mezcla arcilla-agua aumenta de un valor inicial de 4 cps a 41 cps, a medida que se incrementa el porcentaje de arcilla desde 4 % hasta 10 %. El rendimiento para esta arcilla es de 74 bbls/ton de lodo, que se considera aceptable para ser utilizada en fluidos de perforación.

La figura # 2 (valores de la tabla # 2), representa el rendimiento de la arcilla Ecuatoriana (Ecuagel), en dicha curva se aprecia que la viscosidad aparente de la mezcla arcilla-agua aumenta de un valor inicial de 3.5 cps a 63 cps, a medida que se incrementa el porcentaje de arcilla desde 4 % hasta 10 %. El rendimiento para esta arcilla es de 74 bbls/ton de lodo, que se considera aceptable para ser utilizada en fluidos de perforación.

La figura # 3 (valores de la tabla # 3, lodo A), se observa que la pérdida de filtrado a presión constante de 100 psi, y temperatura ambiente (70 °F), es de 5.8 cc; dicho filtrado se incrementa a medida que se aumenta la temperatura desde 8.6 cc a 100 °F hasta 12.8 cc a 200 °F, manteniendo la presión constante. A 250 °F experimentó una disminución brusca a 9.6 cc, lo cual puede deberse a la evaporación de la fase líquida producto del aumento de temperatura. La costra aumenta su espesor, se hace menos compacta y se vuelve quebradiza, lo cual indica que la arcilla sufrió modificaciones en su estructura y dejó agua libre. El pH registró disminución desde 10.5 a 70 °F hasta 7.5 a 250 °F, debido a la posible evaporación del Hidróxido de Sodio al someterse a alta temperatura.

La figura # 4 (valores de la tabla # 4, lodo A), se observa que la pérdida de filtrado a temperatura constante de 100 °F, experimentó un ligero incremento desde 8.6

cc a 10 cc al aumentar la presión desde 100 a 200 psi, a partir de este valor, a presión de 300, 400 y 450 psi, la pérdida de filtrado permanece constante en 11 cc. La costra formada es la ideal para los objetivos de una buena perforación y el pH no sufre alteración alguna con el incremento de la presión.

La figura # 5 (valores de la tabla # 5, lodo B), se observa que la pérdida de filtrado a presión constante de 100 psi y temperatura ambiente es de 6.2 cc, dicha pérdida aumenta a medida que se incrementa la temperatura desde 8.5 cc a 100 °F hasta 12.6 cc a 150 °F, luego experimenta una disminución desde 12.2 cc a 200 °F hasta 9.6 cc a 250 °F, similar a lo ocurrido con el lodo A. La costra igualmente aumentó su espesor, se hizo menos compacta y perdió flexibilidad. El pH disminuyó su valor desde 9 a 70 °F hasta 7.5 a 250 °F.

La figura # 6 (valores de la tabla # 6, lodo B), se aprecia que el volumen de filtrado a temperatura constante de 100 °F, experimenta aumento desde 8.6 cc a 9.2 cc al aumentar la presión desde 100 a 150 psi, para luego incrementarse hasta 10.6 cc a 200 psi y permanecer constante en este valor a 300 y 400 psi. La costra a diferencia del lodo A se volvió gruesa y de poca consistencia. El pH tampoco experimentó cambio alguno con el incremento de la presión diferencial.

En la figura # 7 (valores de la tabla # 7, lodo de campo), se observa que la pérdida de filtrado a presión constante de 100 psi y temperatura ambiente es de 4.4 cc, el cual aumenta con el aumento de temperatura desde 7.6 cc a 100 °F hasta 10 cc a 200 °F y disminuye como los anteriores a 9 cc a 250 °F. La costra como en los lodos preparados en el laboratorio experimentó un aumento en su espesor aunque en menor escala, se torno un poco compacta y presentaba cierta flexibilidad, lo que se debe a la posible alteración de la arcilla utilizada como producto del aumento de temperatura. El pH disminuyó desde 8.5 a 70 °F hasta 7 a 250 °F, lo que se debe a la evaporación del Hidróxido de sodio a altas temperaturas.

En la figura # 8 (valores de la tabla # 8, lodo de campo), se aprecia que la pérdida de filtrado a temperatura constante de 100 °F sufre incremento desde 7.5 cc a 100 psi hasta un valor constante de 8.5 cc al aumentar la presión a 300, 400 y 450 psi.—La costra guarda las características de espesor, compactación y flexibilidad ideales en un programa de perforación. El pH permanece constante sin sufrir alteración por el incremento de la presión diferencial.

Para el lodo A la pérdida filtrado aumento de 5.8 cc API a 7.6 cc HP-HT, la costra paso de delgada, compacta y flexible a ser gruesa, poco compacta y de poca adheren-

cia. El pH bajo de 10.5 a un valor de 7. El lodo B experimentó un aumento desde 6.2 cc API a 8 cc HP-HT, la costra se volvió muy gruesa pero algo compacta y el pH igualmente disminuyó desde 9 a un valor de 7. Para el lodo de campo la pérdida de filtrado paso de 4.4 cc API a 8.4 HP-HT, la costra se torno muy gruesa pero compacta y el pH también disminuyó de 8.5 a 7.

El filtrado HP-HT (500psi - 300 °F), es mayor que el filtrado API (100 psi y temperatura ambiente), debido a que es una función directa de la presión y temperatura.

El aumento de filtrado no es reversible. Teóricamente la arcilla no debe sufrir modificaciones para temperaturas del orden de 200 y 300 °F, ya que su uso se recomienda hasta 400 °F, pero en el fluido de perforación existen varios componentes químicos bastante complejos los cuales pueden dar lugar a las variaciones en sus propiedades al someterse a elevadas presiones y temperaturas.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES:

1. Analizando los resultados obtenidos en las tablas y gráficos se aprecia que la pérdida de filtrado aumenta progresivamente a medida que se incrementa la presión y la temperatura.
2. El volumen de filtrado debe ser cuidadosamente tratado cuando se perforan pozos profundos ya que las altas temperaturas afectan la estructura de las arcillas y la efectividad de los aditivos químicos.
3. La arcilla Americana debido a los efectos de aumento de presión diferencial forma una costra de espesor, compactación y flexibilidad ideales en un programa de perforación, además de ejercer un debido control en la pérdida de filtrado.
4. La arcilla Ecuatoriana a pesar de presentar un excelente control en la pérdida de filtrado, la formación de la costra se ve fuertemente afectada por el incre-

mento de la presión diferencial, ya que se torna gruesa y de poca compactación.

5. El cambio más notable y al que debe prestarsele gran atención es la disminución en el pH por efectos de altas temperaturas, lo cual podría traer grandes problemas en el equipo de perforación y sus operaciones si llega a descender a la escala ácida (menor a 7), además que las pérdidas de agua más altas suceden en lodos ácidos.

6. La contaminación con Calcio que presentan los lodos preparados en el laboratorio se explica por posible contaminación del agua utilizada y porque la Barita empleada contiene Calcio.



## RECOMENDACIONES

1. En la perforación de pozos profundos donde pueden ocurrir bajas considerables de pH, se recomienda mantener éste en un rango entre 9.5 y 11.5 para evitar problemas debido a la acidez del fluido.
2. Se recomienda utilizar la bentonita Acuagel y Ecuagel en la preparación de fluidos de perforación, teniendo especial cuidado con la Ecuagel cuando se someta a alta presión diferencial, puesto que las características de la costra se ven afectadas considerablemente.
3. Realizar pruebas con otros tipos de arcilla y otros aditivos químicos de la gran variedad que existen, con el fin de investigar los efectos de la presión y temperatura en las propiedades del lodo preparados con ellos.
4. Se recomienda utilizar el viscosímetro FANN 350 de HP-HT, propiedad de PetroEcuador para verificar las alteraciones que sufre la viscosidad del lodo debido a la alta presión y la alta temperatura.

5. Finalmente se sugiere que la prueba de HP-HT de pérdida de fluido se haga rutinariamente, especialmente, donde se presentes problemas en el pozo, con el fin de obtener mayor información que permita tomar la decisión adecuada para solucionar el problema.

## BIBLIOGRAFIA

1. SALATHIEL, R. A., A new additive for control of drilling mud filtration, Trans., AIME 1952, 195, pág. 85-90.
2. WEINTRITT, D. J. and HUGHES, R. G. Jr., Factors involved in high-Temperature drilling fluids, J. Pet. Tech., June, 1965. pág. 707-716
3. BENITEZ, M. A., GARAICOCHA, F. y REYES, C., Apuntes de fluidos de perforación, Universidad Autonoma de México, 1970.
4. ANNIS, Max R., High-Temperature flow properties of water-base drilling fluids, J. Pet. Tech., Aug. 1967. pág. 1074-1080.
5. VARGAS, X., El tanino como aditivo para control de filtración y viscosidad, Tesis de Grado. Guayaquil, ESPOL, 1985.
6. MILCHEM, Estudio del pozo Sacha Profundo, Quito,

Septiembre, 1983.

7. HINESTROZA, M. y TOMEY, G., Variación de las propiedades de un fluido de perforación al someterse a altas presiones y temperaturas en condiciones estáticas, Trabajo de Grado. Universidad de Zulia, Venezuela, 1975.