

17
553.6
5341

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE GEOLOGIA, MINAS Y PETROLEOS

"ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES Y DETERMINACION DE LA
UTILIDAD DE DIFERENTES ARCILLAS DEL ECUADOR PARA EMPLEARLAS
EN LA PREPARACION DE FLUIDOS DE PERFORACION"

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE

INGENIERO DE PETROLEO

POR:

EDWARD SANCHEZ NARVAEZ

OCTUBRE, 1976

GUAYAQUIL-ECUADOR



BIBLIOTECA

"ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES Y DETERMINACION DE LA
UTILIDAD DE DIFERENTES ARCILLAS DEL ECUADOR PARA EMPLEARLAS
EN LA PREPARACION DE FLUIDOS DE PERFORACION"

DIRECTOR DE TESIS


ING. DANIEL TAPIA FALCONI

A U T O R


EDWARD SANCHEZ NARVAEZ



BIBLIOTECA

DECLARACION EXPRESA:

DECLARO QUE: Hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, son de mi exclusiva responsabilidad y que el patrimonio intelectual de la misma corresponde a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la Escuela Superior Politécnica del Litoral).

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mis sinceros agradecimientos al ING. DANIEL TAPIA F., por su acertada dirección en la elaboración de este trabajo de investigación.

Al ING. HUGO COELLO por su valiosa ayuda y a las personas que de una u otra manera han colaborado para la realización del mismo.

DEDICATORIA

A mis queridos Padres

Sr. Dn. MARTINIANO SANCHEZ J.

Sra. Dña. CELIA NARVAEZ DE SANCHEZ

con todo el amor y respeto por su
abnegable labor de saberme guiar.

A mis hermanos

MERCEDES

FLOR

ERLA

MARLENE

MARTINIANO

JORGE

WALTER

GREGORIO

CARLOS

Por una lucha continua

A mis compañeros de promoción
por el éxito en su carrera profesional

A MYRIAM

CONTENIDO

	Pág.
I. RESUMEN	1
II. INTRODUCCION	4
III. REVISION DE LITERATURA	8
IV. CONSIDERACIONES TEORICAS	12
1. Las arcillas	12
1.1. Generalidades	12
1.2. Clasificación	12
1.3. Origen de las Arcillas	13
2. Propiedades y usos	15
2.1. Hidratación	16
2.2. Cambio de Fase	16
2.3. Tixotropía	17
2.4. Reducción de Filtrado y Enjarre	17
3. Propiedades de los Flúidos de Perforación	19
3.1. Densidad o peso del Lodo	20
3.2. Viscosidad	23
3.3. Filtrado y Enjarre	30
3.4. Gelatinosidad	37
3.5. Contenido de Arena	40
3.6. Potencial de Hidrógeno	40
3.7. Contenido de Sólidos Agua y Aceite	41
3.8. Contenido de Sales	42
4. Funciones de los Flúidos de Perforación.	42
4.1. Remoción del Ripio del Pozo	43
4.2. Enfría y lubrica la barrena y tubería de Perforación.	45

	Pág.
4.3. Formación de un enjarre en la pa red del Pozo	46
4.4. Control de las presiones bajo la superficie	48
4.5. Mantener en Suspensión el Ripio cuando se interrumpe la circula- ción.	49
4.6. Desprender la arena y cortes en la superficie	50
4.7. Soporte del peso de la Tubería y Casing.	50
4.8. Protección del Agujero	51
4.9. Seguridad de Obtener la Máxima in formación sobre el agujero	51
V. EQUIPO EXPERIMENTAL Y ADITIVO	54
1. Equipo a utilizarse	54
2. Muestras	74
3. Aditivos empleados	75
VI. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	79
1. Generalidades y Definición	79
2. Clasificación y especificaciones	80
3. Método de Prueba	83
3.1. Determinación de Humedad	83
3.2. Determinación de viscosidad plás tica y Punto de Cedencia	84
3.3. Determinación del Filtrado	85
3.4. Granulometría	86
VII. DISCUSION DE RESULTADOS	94

	Pág.
VIII. CONCLUSIONES	99
IX. RECOMENDACIONES	101
X. TABLAS, GRAFICOS Y REFERENCIAS	103

I. RESUMEN

Siendo éste el primer trabajo de investigación realizado en el Laboratorio de Fluidos de Perforación de la Escuela Superior Politécnica del Litoral creí necesario describir las propiedades y funciones de los lodos, el manejo de los equipos, mantención y cuidado de los mismos, con la finalidad de que sirva de guía en el futuro, en el estudio de la preparación y comportamiento de dichos fluídos.

f Las arcillas objeto de este análisis fueron casi exclusivamente todas de la cuenca Sedimentaria Azuay- Cañar. Estas bentonitas fueron secadas en los hornos del laboratorio de mecánica de suelos durante 24 horas a 110°C luego trituradas y después tamizadas hasta obtener partículas de 200 mesh (.0029 pulgadas), así en estas condiciones - las muestras están listas para ser sometidas a ensayos y pruebas para determinar sus propiedades físicas. Todas estas arcillas fueron analizadas en su estado natural y luego fueron activadas con Bicarbonato de Sodio, para de ésta manera llevar las Cállicas a Sódicas y mejorar la calidad. Una vez transformadas a Sódicas fueron analizadas y

se hicieron las mismas pruebas que en estado natural.

Para poder determinar si eran utiles se tomó como base de referencia la norma de calidad de bentonitas para fluidos de perforación y terminación de pozos petrolíferos, del departamento de Perforación del Instituto Mexicano del Petróleo.

El principal objetivo que este trabajo fué el de encontrar una bentonita sodica, en el Ecuador, que reemplace a la importada usada en la preparación de los fluidos de Perforación. Para lo cual se tomó varias muestras y a éstas se les hizo variar la concentración, como también la calidad. Se les determinó la viscosidad aparente, viscosidad plástica, punto cedente, gel inicial, gel final, pérdida de fluido, pH del lodo y del filtrado, contenido de sólidos y líquidos y contenido de arena.

En los actuales momentos en que el país está tratando de nacionalizar la industria del petróleo, es necesario que se sepa que equipo técnico y personal capacitado tiene para poder llevar adelante su plan trazado. De allí que he creído necesario hacer una investigación de las arcillas, materia prima que se utiliza en la perforación de pozos,

ya que nuestro país cuenta con grandes depósitos, para de terminar si es que sirven para el propósito materia de es te estudio. Y así de esta manera crear nuevas fuentes de trabajo, evitar fugas de divisas y evitar también el consumo de productos extranjeros, cumpliendo así de esta manera en parte con la finalidad con que fué creado este ins tituto de educación Superior, el cual es contribuir al de sarrollo y engrandecimiento del país.

II. INTRODUCCION

Antes de considerar las bentonitas como una clase de arcillas especiales se conocían varias de sus propiedades y algunos de sus usos. Los Romanos la usaban en la cerámica, limpieza de tejidos, como desengrasante, etc., parece que los Egipcios y los griegos aplicaron estas arcillas en similares utilizaciones.

Fué en 1888 en la localidad de FORT BENTON (Wyoming) U. S.A. que se descubrió una variedad de la arcilla que tenía la particularidad de hincharse con el agua dando como resultado una masa voluminosa y gelatinosa. Estas propiedades llamaron la atención de los investigadores que la denominaron bentonita en atención al lugar donde la identificaron como tal.

En general todas estas arcillas están compuestas esencialmente de montmorillonita pero no todas tienen propiedades físicas similares a las de Wyoming, ni tampoco todas se han formado por la alteración de rocas volcánicas. Cabe señalar que el término bentonita no debe tener significado genético. La bentonita no debe ser sinónimo de arcilla hinchable, altamente plástica y coloidal, ya que de

penden de la especie mineral, de su quimismo, etc.

En conclusión el término bentonita es una denominación comercial que se les da a las arcillas esmectitas (montmorillonita) que reúnen las propiedades fisico-químicas antes expuestas.

Desde este punto de vista comercial podemos distinguir dos tipos de bentonita: La de Wyoming y las de tipo Sur. Las bentonitas wyoming (bentonitas Sódicas) tienen una alta capacidad de hinchamiento y pueden aumentar de 15-25 veces su volumen y presentar excelentes propiedades en seco para aglomerantes y arenas de moldeo y peletización, en cambio la bentonita tipo Sur presentan calcio como ion intercambiable, son de baja hinchabilidad, tienen muy buenas propiedades como aglomerante en verde y son usadas para moldes. Las bentonitas sódicas son excelentes para emplearlas en la preparación de lodos de perforación, debido a las propiedades físicas que tienen, pero en cambio no sirven para decoloración o catalisis. Las bentonitas calcicas son muy poco usadas en la preparación de fluidos de perforación ya que las propiedades que poseen estas arcillas no son adecuadas ni favorables para este uso.

Desde que comenzó el uso del barro en la perforación a percusión y se usó lodo a base de arcilla fue que la bentonita sodica entró a interesar a los investigadores en el campo del fluido de perforación. Tomó mayor auge el uso de la bentonita con el advenimiento de la perforación por el método rotatorio.

El lodo de perforación debe cumplir una serie de funciones para realizar un buen papel en la perforación de pozos. Estas funciones las cumplen en su mayor parte los barros formados con agua y bentonita, razón por la cual nosotros empleamos esta arcilla y para que desempeñen satisfactoriamente sus funciones debemos tener un control de su comportamiento en el lodo de perforación. El ingeniero encargado de este control deberá mediante tratamientos especiales mantener el barro en óptimas condiciones para obtener un rendimiento satisfactorio; sin olvidar las consideraciones técnicas y económicas que proporcionen seguridad máxima al pozo. Este control de la calidad del fluido de perforación se lo lleva a cabo en pruebas realizadas en laboratorio en el campo.

Este lodo a base de agua consiste básicamente de (1)

fase líquida, agua o emulsión, (2) una fase coloidal, principalmente barros, (3) otra fase inerte, practicamente barrita como material pesado y arena fina; y (4) una fase química, que consiste de iones y sustancias disueltas que afectan y definen el comportamiento de los materiales coloidales como los barros.

El agua sola es algunas veces el fluido ideal de perforación y se lo usa con mucha frecuencia para perforar áreas donde existen bajas presiones en la formación, o también cuando las zonas perforadas son arcillas y lutitas, y entonces estas se dispersan con el agua, dando lugar a un buen lodo de perforación. En otros lugares donde se encuentran formaciones duras tales como calizas, arena o grava, las cuales no se dispersan en el agua para dar lodo; bajo estas condiciones debemos agregar (arcilla) bentonita la cual formará un lodo-base agua y esta arcilla debe dar viscosidad al fluido de perforación y deberá sellar las paredes del agujero para que el fluido que esté circulando no pierda la fracción líquida hacia las formaciones porosas. Con la adición de la arcilla se evitaba también derrumbamientos en la pared del pozo y se reducía la cantidad de pérdida de fluido hacia las formaciones porosas.

III. REVISION DE LITERATURA

✓ En este capítulo trataremos de algunos trabajos relacionados con esta investigación y veremos que han sido muchos los investigadores que desde hace algunos años se han interesado por los materiales arcillosos denominados bentonita. Este término de bentonita fue sugerido por Knight⁷ en 1898 para un material arcilloso peculiar que poseía una gran plasticidad y era altamente coloidal y que fue encontrado cerca de Fort Benton en el cretácico de Wyoming. Esta bentonita posee la propiedad de hincharse y aumentar varias veces su volumen cuando se ponía en contacto con el agua y forma gales tixotropicos cuando se añade en pequeñas cantidades al agua.

Hewett³² y Wherry³¹ en 1917, y por separado, fueron los primeros que establecieron que estas arcillas especiales eran un producto de alteración de cenizas volcánicas a pesar de que anteriormente Condra en 1908, ya había sugerido este origen para una arcilla similar del N de Nebraska.

En 1926, Ross y Shannon²⁸ presentaron la siguiente definición: Bentonita es una roca compuesta esencialmente de un material arcilloso cristalino formado por la desvitri-

ficación y la alteración química de una roca ignea vitrea, normalmente unas tobas o cenizas volcanicas. Estos mismos autores añadieron que "el mineral de la arcilla característica tenía un hábito micáceo y facil exfoliación, alta birrefringencia y una textura heredada de la roca volcánica, que normalmente era montomorillonita y, menos frecuente, beidellita. Según Lewis Squires, Thompson¹⁷, las arcillas consisten predominantemente de silicato de Aluminio Hidratado. La fórmula es $Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2 \cdot 2H_2O$, pero en general - la relación de Silicio a Aluminio es considerablemente alta. El comportamiento de las arcillas está determinada por la propiedad de las partículas de arcilla individual, las mas importantes son el tamaño, forma y características de superficie.

Reed, Broughton y Hand^{4,25}, observaron que en algunas arcillas hidratadas, la viscosidad aumentaba durante la agitación en el viscosímetro y luego alcanzaba un valor ^{vis}cositante, si la mezcla se ponía en reposo, al comenzar a rotar, la viscosidad tomaba valores altos, pero a medida que el tiempo pasaba, la viscosidad disminuía y luego tomaba valores constante. También observaron que algunas muestras al colocarlas en el viscosímetro después de un

cierto tiempo en reposo, la viscosidad disminuía y luego aumentaba a medida que se rotaba el viscosímetro.

Garrison¹¹ investigó la causa de estos fenómenos y encontró que los dos primeros se explican por la condición diferente antes de someterla a rotación. El último fenómeno, se debe a que la mezcla no fué suficientemente agitada, no dando tiempo a la arcilla a hidratarse completamente y dispersarse formando conglomerados no dispersados. Al ponerse en reposo, se desarrollaron las propiedades que dan al inicio de la rotación ese comportamiento, estas propiedades tixotrópicas son destruidas y la viscosidad aparente decrece. Otra razón del aumento es debido a los cationes que se desarrollan en las capas de las arcillas y dan origen a una mayor deshidratación.

Pollard y Heggem¹⁵ en el año 1914, investigaron el uso del lodo en la perforación a percusión, en Oklahoma. En sus investigaciones usaron lodo a base de arcilla como el usado en el primer pozo productivo de Beaumont, Texas y definieron el lodo de perforación como: Una mezcla de agua y arcilla, la cual permanece suspendida en el agua por un tiempo considerable" y recomendaron que se usara un 20% de arcilla por peso de agua empleada en la mezcla.

Lewis y Mc-Murray¹⁸, en 1916 definieron el lodo de perforación como "Una mezcla de agua con algún material arcilloso, la cual permanecía suspendida en el agua por un tiempo considerable y que estuviera libre de arena o cualquier otro tipo de ripio" y consideraron como buen lodo de perforación aquel que fuera lo suficientemente espeso para tapar los poros de las arenas y las rocas, y que no pasaran a través de ellos.

El uso de la bentonita o arcilla bentonítica no fue iniciado sino hasta 1929. En ese año sus usos fueron patentados por Cross, bajo el N° 1.943.584, y por Harth según patente N° 1991.637, que cubría además las arcillas bentoníticas con óxido de magnesio y la arcilla bentonítica, aditivo de suspensión y gelatinización para lodos a base de agua.

Desde 1931 en adelante, el progreso en el arte de preparar y analizar el lodo de perforación toma rápido incremento. Se realizan estudios de la estructura y propiedades de la bentonita, para ser usada en el fluido de perforación.

IV. CONSIDERACIONES TEORICAS

1. LAS ARCILLAS

1.1. Generalidades.

El Comité de Sedimentación del Consejo Nacional de Investigaciones y la Sociedad de Ceramistas Americanos, definen la arcilla "como un término que implica un material natural con propiedades plásticas, y compuestas por partículas de tamaño reducido que son especialmente de silicato de Aluminio hidratado, o a veces silicato de magnesio hidratado.

Las arcillas están compuestas de Silicatos de Aluminio hidratado, de extremada fineza y tamaño variable. Asociado con ellos se encuentra casi siempre una cantidad definida de metales, como magnesio, hierro, etc. Estas sustancias pueden formar parte intrínseca del cristal o pueden estar en condiciones de ser reemplazadas por otros elementos. Generalmente este reemplazo se efectúa por dialésis.

1.2. Clasificación

Atendiendo a la composición mineralógica y estructural de las arcillas éstas pueden ser clasificadas en los si-

guientes grupos:

GRUPO A - Kaolínico	GRUPO B - Bentonítico
Kaolinita	Montmorillonita
Haloisita	Beidelita
Dikita	Hectarita
Nacrita	Nontronita
Endelita	Saponita

GRUPO C - Micaceo.

Son usualmente micas hidratadas, muy parecidas a la moscovita, pero contiene menos potasio, aproximadamente de 6 a 50% del contenido de moscovita. Este grupo no es muy bien conocido.

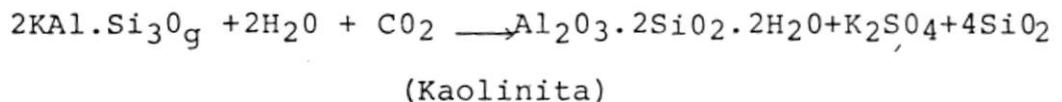
En el Grupo A, las cuatro primeras tienen la misma composición química ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), pero diferente estructura cristalina. La última contiene dos moléculas más de agua. ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Con una relación de 4:1 entre SiO_2 y Al_2O_3 .

1.3. Origen de las Arcillas

Las arcillas son mezclas de compuestos finamente divididos durante la acción erosiva sobre la tierra. Esto explica por qué estos materiales son esencialmente silicatos

Alumínicos. La tierra está formada de un 83% de oxígeno, sílice y Aluminio, y 15% de hierro, calcio, potasio, magnesio, e hidrógeno. De allí que los materiales resultantes de la combinación de estos elementos sean principalmente silicatos alumínicos, y muchas veces se encuentran combinados con los otros elementos.

Se ha comprobado que la mayoría de los materiales arcillosos provienen de la meteorización de las rocas ígneas que constituyen el 95% de las rocas de la litósfera. Los feldespatos y hornblendas son los constituyentes primordiales de las rocas ígneas, son inestables bajo la presencia de los agentes atmosféricos (H_2O y CO_2) ya que reaccionan con ellos de la siguiente manera:



De esta manera se explica el por qué se dice que los feldespatos son los compuestos básicos para la producción de las arcillas.

La opinión más aceptada sobre el origen de la bentonita es el Volcanico. Durante, las erupciones, las cenizas al ponerse en contacto con los agentes oxidantes, producen al

teraciones en sus superficies, y luego se subdividen al ponerse en contacto con la humedad. El agua causa primero la desintegración en sílice hidratado y aluminio con propiedades coloidales. Parte de las Sales solubles pueden ser absorbidas y el resto es arrastrado por el agua percolante. A tal proceso le sigue el crecimiento de los cristales que forman un gran número de núcleos, y finalmente tomando un aspecto metacoloidal (en el cual las masas de granos formados de minúsculos cristales están en contacto unos con otros. Esta suposición del origen volcánico de la bentonita es afirmado por el hecho geológico de que tales condiciones, se presentaron principalmente en el terciario y cretáceo y es en esos sitios de estas edades donde se hallan preferentemente las acumulaciones de este material.

2. PROPIEDADES Y USOS

Nosotros trataremos de las propiedades físicas y químicas de interés para el Ingeniero de Lodos, de las cuales las más importantes son las siguientes: hinchamiento por la hidratación, dispersión, cambio de base, tixotropía, reducción de pérdida de líquidos, efectos por cambio en el pH, efectos causados por sales solubles.

2.1. Hidratación

Consiste en el intercambio de moléculas de agua entre las laminillas de montmorillonita, el aumento del volumen ocasionado por la adsorción del líquido constituye el hinchamiento (de 8 a 10 veces el volumen original del material seco).

Este proceso requiere dos pasos: el uno es la intercalación de hasta cuatro capas de agua entre las laminillas del material, (por acción de la energía de Hidratación del agua. En el segundo paso continúa el hinchamiento por repulsión entre las placas hasta alcanzar distancias de equilibrio indicadoras de que ésta expansión está limitada por fuerzas de atracción.

El grado con que las laminas pueden ser separadas por hidratación, depende de las fuerzas electrostáticas con que están unidas. En las bentonitas sódicas los iones sódicos proporcionan fuerzas de unión más débiles que en las cálcicas por lo tanto las bentonitas sódicas se hidratarán más.

2.2. Cambio de Fase

Este cambio de fase trata de la fuerza con que los iones pueden reemplazar a otros, es decir de la capacidad -

de intercambio cationico.

2.3. Tixotropía

Las partículas Bentonita poseen cargas eléctricas y el origen se atribuye a:

- A) El rompimiento de las moléculas en diferentes puntos - proporcionan a las partículas valencias residuales Si (+) 0(-).
- B) Los cationes absorbidos sobre la superficie de las capas, ionizan dando carga eléctrica negativa a la superficie.

2.4. REDUCCION DE FILTRADO Y ENJARRE

Una de las funciones más importantes de la bentonita es controlar la pérdida de fluido hacia la formación, formando un enjarre en el agujero.

USOS.- Los usos de la bentonita son muy variados y éstos dependen de la clase y calidad de bentonita de que disponemos. De entre los usos más conocidos tenemos: como arena de moldeo, peletización y para preparar lodos de perforación.

De entre estos usos, del que trataremos nosotros será el de la aplicación en los fluidos de perforación.

- La arcilla en el fluido de Perforación

Para el Ingeniero de Lodos la arcilla es un material de tamaño coloidal que es Hidrofílico (se dispersan en el agua) e Hidrofóbico (no se dispersan en el agua).

La arcilla usada son las bentonitas (montmorillonita), y estas partículas de arcillas son como hojas planas y delgadas superpuestas en capas parecidas a un mazo abierto de barajas en forma de abanico. Aquí la superficie de área mayor está cargada negativamente y asociada con una nube de cationes. Esto produce un incremento en las fuerzas de atracción entre las placas permitiendo que solamente hayan películas delgadas de agua. Los cationes Ca^{++} , Mg^{++} , disminuyen la película de agua porque aumenta las fuerzas, en cambio los cationes (Na^+) dan lugar a menores fuerzas atractivas entre las placas y el agua será admitida en mayor cantidad. De esto se deduce que la bentonita sódica admite un mayor hinchamiento que la bentonita cálcica.

Las partículas de arcilla tienen dos superficies, la ca ra está cargada negativamente y el borde positivamente,

Las partículas de arcilla se asocian de tres maneras: ca ra-cara, borde-borde o cara-borde.

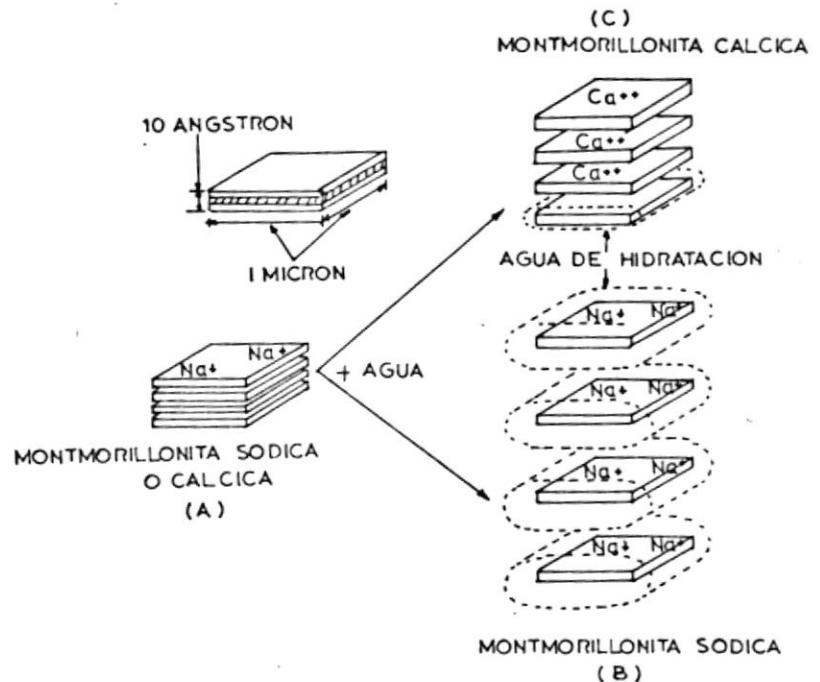


FIG. 1. HIRATACION DE MONTMORILLONITA SODICA Y CALCICA

3. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION

Las propiedades de los fluidos de perforación están en relación con las funciones que deben desempeñar dichos fluidos, por lo cual es difícil presentar un orden de importancia de dichas propiedades, ya que en cierto momento una propiedad será de mayor interés que otra de acuerdo al problema que se presente en el pozo, así por ejemplo: si queremos ejercer presión con el lodo daremos mayor atención a

la densidad, o si queremos mantener los ripios en suspensión daremos prioridad a la viscosidad y así sucesivamente, luego vemos que bajo ciertas condiciones todas las propiedades son de igual importancia.

Las propiedades de los fluidos variarían de acuerdo a las condiciones en que se encuentran es decir los diversos parámetros que describen el comportamiento de las propiedades de los lodos, por lo tanto tendremos infinito valores de una propiedad con solo ir variando un parámetro así por ejemplo tenemos: la viscosidad del lodo, esta no es valor único que determina como fluirá el lodo, sino que es función de la temperatura, de la rata de corte, de la presión, etc.

Las propiedades más importantes de los fluidos de perforación para determinar su comportamiento son: (1) Densidad; (2) Viscosidad, (3) pérdida de fluido, (4) Gelatinización, (5) Contenido de arena, (6) potencial de hidrógeno, (7) contenido de sólidos, (8) contenido de sales. ✓

3.1. Densidad o Peso del Lodo

Esta propiedad es muy importante en un lodo de perforación, la cual siempre debe estar en constante control durante la perforación, ya que ejerce primordial importan-

cia sobre la presión hidrostática del lodo ($P_h = 0.052Gh$) lo cual permite tener un control sobre la presión de las formaciones atravesadas en la perforación de un pozo. Esta propiedad de peso sirve para contrarrestar los flujos de gas o de agua en el pozo, permitiendo de esta manera tenerlos confinados en sus respectivas zonas. La diferencia entre la presión hidrostática y la presión de formación confinada es el factor de seguridad para el control de las presiones y esta diferencia puede ser aumentada o disminuída variando el peso del lodo.

La densidad del lodo se define como el peso del lodo por unidad de volumen y depende de la cantidad y gravedad específica del líquido dispersante y de los sólidos en sus pensión.

La densidad se la determina por medio de una balanza de lodo, la cual nos da la densidad en lb/galon, lb/pie³, gravedad específica, libras por pulgada cuadrada por 100 pies de profundidad.

Para aumentar la densidad se utilizan ciertos aditivos no reactivos con la fase líquida, de entre los cuales, el más usado es la barita que tiene una gravedad específica $\rho_{ba} = 4.3 \text{ gr/cc}$.

La cantidad de barita necesaria que debemos agregarle a un lodo para llevarlo de una densidad inicial (d_i) a una densidad final (d_f) estará dada por la ecuación de balance de material o en la ley de la Conservación de las masas: "que establece que la masa de los materiales permanecerá igual.

La fórmula será igual:

$$W_b = \frac{1505 V(d_f - d_i)}{35.8 - d_f}$$

Así mismo tenemos que si queremos disminuir la densidad del lodo debemos agregar agua. La fórmula para este caso será:

$$V_w = \frac{V_i (d_i - d_f)}{d_f - 8.33}$$

Donde: W_b = peso de la barita en lbs.

V_w = volumen de agua necesario bbls

V_i = Volumen inicial de fluidos bbls

d_i = densidad inicial del fluido lbs/galon

d_f = densidad final del fluidos lbs/galon

V = volumen del fluido en Bbls

1505 = peso de un barril de barita en lbs.

35.8 = peso de un galon de barita en lbs.

Valores Constantes

$$\begin{aligned} \text{Densidad del agua} &= 1 \text{ gm/cc} = 62.4 \text{ lb/pcie}^3 = 350 \text{ lbs/bbl} \\ &= 83.3 \text{ lbs/gal} = 0.433 \text{ lpc/pcie} \end{aligned}$$

$$\text{Viscosidad aparente del agua} = 1.0 \text{ cps.}$$

$$\text{Viscosidad plástica} = 0.0 \text{ cps}$$

$$\text{Punto cedente del agua} = 0.0 \text{ lbs/100 pcie}^2$$

$$\text{Densidad de la barita} = 4.3 \text{ gm/cc}$$

$$\text{Densidad de la bentonita} = 2.5 \text{ gm/cc}$$

$$\text{Viscosidad Marsh del agua} = \underline{+} 26 \text{ seg.}$$

3.2. Viscosidad

La viscosidad de un fluido, es la medida de su resistencia interna al flujo, mientras mayor sea la resistencia mayor será la viscosidad. Los fluidos ordinarios como el agua, tienen una viscosidad constante a una presión y temperatura dada. Sin embargo una suspensión coloidal, como los fluidos de perforación no tienen una viscosidad constante a una temperatura dada, sino que varían con la rata de agitación, a bajas ratas tienen mayor viscosidad que a altas ratas.

La viscosidad se mide en poises y se define como "la fuerza necesaria (dina) para deslizar dos capas que se encuentran separadas un centímetro a la velocidad de 1 cm/seg.

y de 1 cm^2 de superficie".

Esto puede expresarse matemáticamente con la siguiente fórmula:

$$\frac{F}{A} = n \frac{dv}{dz}$$

Donde:

F = fuerza que origina el flujo en dinas

A = Area de la superficie lateral sobre la que se aplica la fuerza cm^2

n = coeficiente de viscosidad poises.

dv/dz = gradiente de velocidad perpendicular a la dirección del flujo $(\text{cm}/\text{seg})/\text{cm}$ o seg^{-1} .

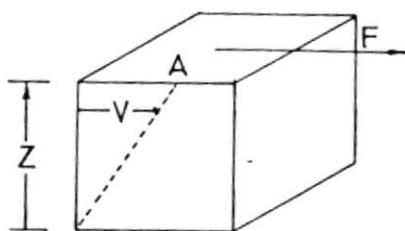


FIG. 2. RELACIONES DE FUERZA Y VELOCIDAD EN FLUJO DE LIQUIDOS.

El agua a la temperatura ambiente tiene una viscosidad de un centésimo de poise o sea un centipoise. En la práctica se acostumbra a utilizar el centipoise ya que se puede establecer comparación inmediatamente con la viscosidad del agua.

Despejando v de la ecuación tendremos la siguiente relación muy útil para el estudio reológico o sea el estudio de la deformación y flujo de la materia.

$$\eta = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{dv}{dz}} = \frac{\frac{ML/T^2}{L^2}}{\frac{L/T}{L}} = \frac{M}{LT} =$$

$$\eta = \frac{\text{esfuerzo de corte}}{\text{gradiente de velocidad}}$$

En el cual:

$$\mu = 1 \text{ poise}$$

$$M = \text{g cm - mas}$$

$$L = \text{cm}$$

$$T = \text{seg.}$$

$$1 \text{ poise} = \frac{\text{gr-masa}}{\text{cm-seg.}}$$

Los factores que influyen en la selección de la viscosidad de un lodo son:

1. El diámetro del hoyo,
2. Las condiciones del hoyo,
3. La rata de bombeo,
4. La rata de perforación,

5. El tamaño de las partículas de ripio,
6. Los derrumbes,
7. El peso del lodo,
8. El diseño de los pasos de asentamiento; y
9. Las características de gelatinización.

Un valor alto de densidad trae consigo graves consecuencias, entre las más importantes tenemos: 1) que el material suspendido en el lodo se asienta en los pozos, 2) el bombeo del lodo se hace dificultoso; y 3) el gas disuelto por el lodo no escapa fácilmente. En cambio una viscosidad baja hace que el fluido no tenga la capacidad necesaria de transporte²⁷.

En conclusión diremos que mientras mayor sea el porcentaje de sólidos suspendidos mayor será la viscosidad del fluido de perforación.

Ahora, de acuerdo con la variación del valor de esfuerzo del corte al variar la velocidad de corte, se han establecido en dos clases generales: a) Fluidos newtonianos. La primera incluye a los líquidos que tienen una viscosidad constante a cualquier temperatura y presión dadas como son: el agua, glicerina, aceites para motor, kerosene y líquidos similares, a estos se los conoce con el nombre de Fluidos newtonianos. También se los puede definir

como aquellos que estando el fluido en reposo no necesita ningún esfuerzo para hacerlos mover. b) Fluidos no newtonianos: son aquellos cuya viscosidad no es constante a la temperatura y presión de que se trata, sino que dependen del flujo mismo como factor adicional. También los podemos definir como aquellos que al estar en reposo se gelatinizan y para poderlos en movimiento necesitan de un esfuerzo grande. Entre estos tenemos los fluidos de perforación; las lechadas de cemento Portland en agua, las suspensiones coloidales, éstos se comportan como fluidos plásticos o no newtonianos y se asemejan al modelo propuesto por Bingham.

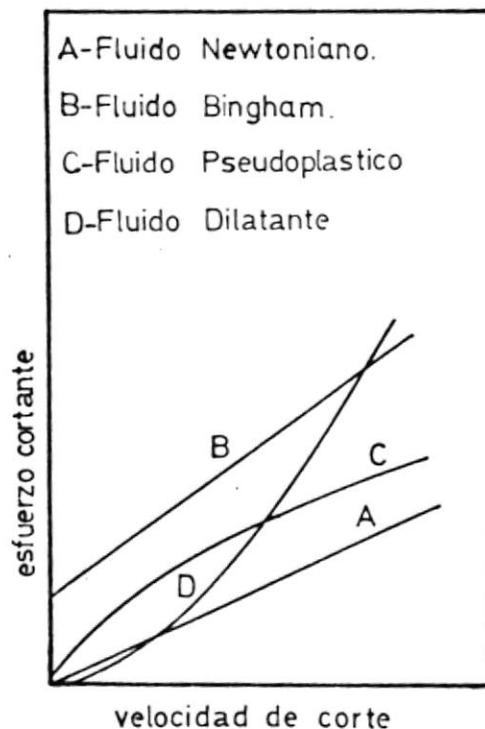


FIG. 3. CARACTERISTICAS DE VISCOSIDAD DE FLUIDOS NEWTONIANOS, PLASTICOS DE BINGHAM, SEUDO PLASTICOS Y DILATANTE.

Fluido Seudoplásticos.- A esta relación se la define "viscosidad aparente" ν_a , notaremos en el gráfico que la viscosidad aparente es bastante alta para bajos esfuerzos de corte y decrece a medida que aumenta el esfuerzo. Entre estos tenemos a las soluciones de Latex y algunas de jabón.

Fluidos Dilatantes.- Presentan un comportamiento reológico opuesto al de los seudoplásticos, pues aquí nos damos cuenta según el gráfico que la viscosidad aumenta al aumentar el esfuerzo de corte. Ejemplos de este tipo tenemos a las resinas vinílicas y el engrudo de almidón.

Conocemos 3 clases de viscosidades: plástica, aparente y punto cedente.

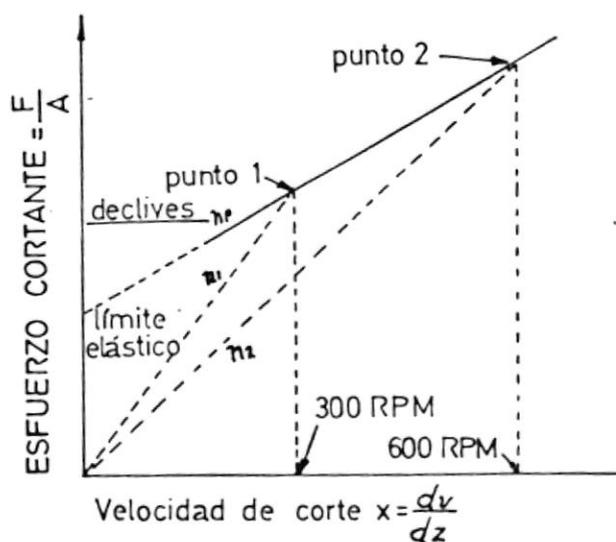


FIG. 4. ANALISIS DE LAS RELACIONES DE VISCOSIDAD

Donde:

τ_{np} es la "viscosidad plástica" y viene dada en centipoise y se la define como la resistencia que el fluido opone a fluír debido al roce del material sólido entre sí, entre los sólidos y el líquido que los rodea y por el deslizamiento de la fase líquida. Por lo tanto la magnitud de la viscosidad plástica depende de: la concentración de sólidos en el lodo, de la forma de los sólidos y de la viscosidad del líquido. Para concentraciones elevadas de sólidos los choques y resistencia serán mayores y como consecuencia directa mayor será el valor de la viscosidad plástica.

τ_a es la "viscosidad aparente" y es la que se determina a una sola velocidad de corte, suponiendo que ese valor corresponde a la de un fluido verdadero y se la puede controlar mediante adelgazadores ordinarios.

τ_{yp} es el punto cedente y es la medida de las fuerzas eléctricas que hay entre las partículas debido a las cargas positivas y negativas colocadas cerca de la superficie de cada una de las partículas componentes del barro.

El punto cedente es un indicativo de si o no necesita tratamiento de dispersión un cierto fluido de perforación.

Los valores de viscosidad plástica y punto cedente se tratan siempre de mantener lo más bajo posible, éste punto cedente depende de a) la concentración de los sólidos en el sistema, b) de las propiedades de dichos sólidos, c) de las cargas envueltas en dicho sistema.

La viscosidad se la determinaba por medio del embudo Marsh, del viscosímetro Stormer. En la actualidad se ha adoptado el viscosímetro Fann y el Reómetro Baroid.

3.3. Filtrado y Enjarre

Hay dos tipos de filtración, la dinámica que ocurre cuando el fluido está circulando y es el tipo de filtración que mas se acerca a las condiciones reales del pozo. Mientras mayor sea la rata de flujo mayor será la cantidad de filtrado. Y la Estática cuando el fluido está en reposo y es con la que se trabaja ya que no hay ningún medio adecuado para medir la filtración dinámica. La medida se hace con el equipo standard API y los datos que se obtienen son la pérdida de agua y el espesor de la costra.

El lodo se compone de una fase líquida y otra sólida, cuando se está perforando parte de la fase líquida se filtra hacia las formaciones atravesadas y éste volumen de fa

se líquida perdida es lo que se conoce con el nombre de filtración o filtrado del lodo de Perforación. Después al perder fluido se forma una torta de los sólidos de lodo sobre la pared y es lo que se conoce con el nombre de enjarre.

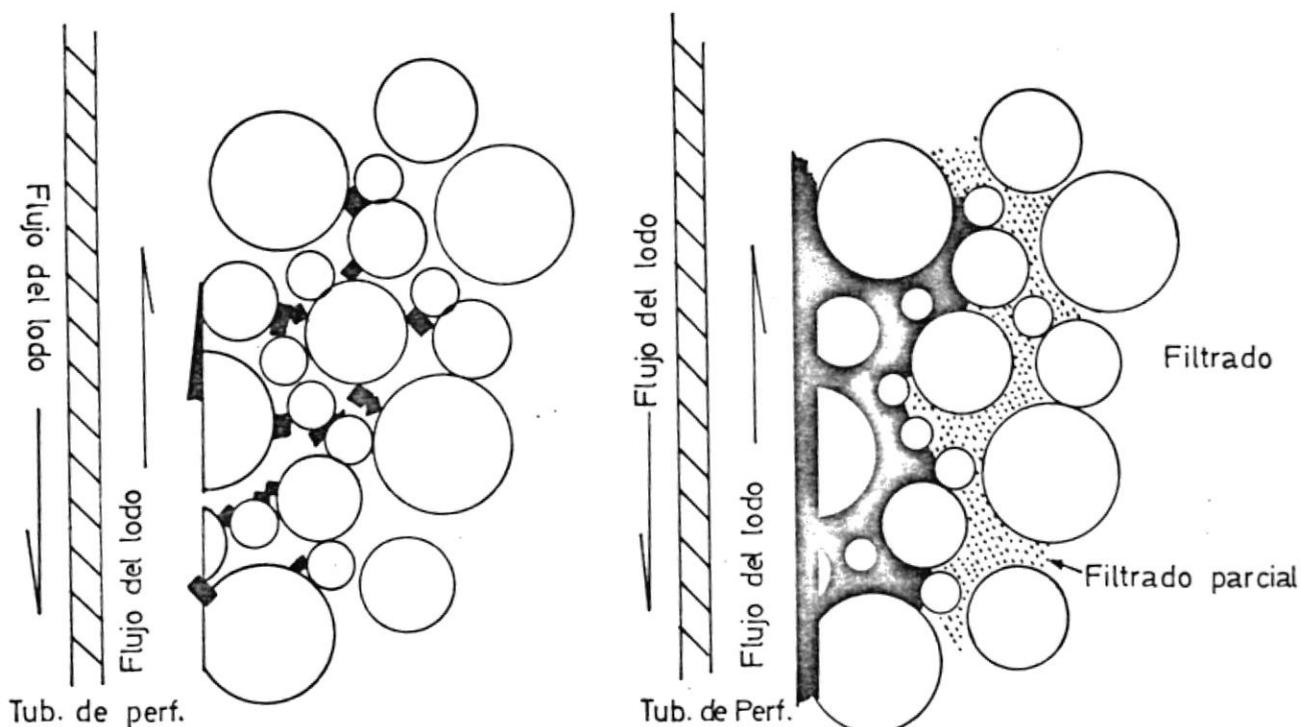


Fig. 5 Entrada de partículas Durante el Deposito de Enjarre.

Fig. 6 Enjarre Depositado por el Filtrado.

Generalmente, mientras se perforan formaciones no productoras se desea una filtración alta ya que así se ablanda la formación y es más fácil de perforar; pero cuando -

se comienza la perforación de la zona productora se debe tener una mínima filtración (3 a 5 cc tomados en el laboratorio) ya que ese filtrado desplaza los fluidos que se encuentran almacenados en la formación y de esta manera van dañando la formación y por consiguiente la recuperación de hidrocarburos será menor.

3.3.1. Filtrado API

Es el volumen de fase continua de un fluido de perforación que se recoge en un filtro prensa en un tiempo de 30 minutos a una presión de 100 Lpc y a la temperatura ambiente.

Para medir el efecto de filtración en el laboratorio se utiliza un filtro prensa (Fan o Baroid) el cual nos da una idea del volumen de filtrado que puede ocurrir bajo las condiciones del pozo. Disponemos además de un filtro prensa de alta presión y alta temperatura que nos da una mejor aproximación de las condiciones del pozo, pero siempre está el inconveniente de que solo se lo hace bajo condiciones estáticas.

3.3.2. Factores que afectan la filtración

Tiempo.- La pérdida de agua de acuerdo con las especificaci

ciones de la API se toma en un período de 30 minutos, en muchas ocasiones se sabe tomar 7 1/2 minutos y el resultado se multiplica por dos para obtener el equivalente del período de 30 minutos. Aunque sabemos que el enjarre no es constante y que todos los enjarres son mas o menos compresibles, si graficamos el filtrado Q vs- raíz cuadrada del tiempo, resultará una línea recta a pesar de cualquier error constante en el filtrado; y cualquier error se pone de manifiesto en el punto de intersección de la línea del tiempo con la línea de filtrado.

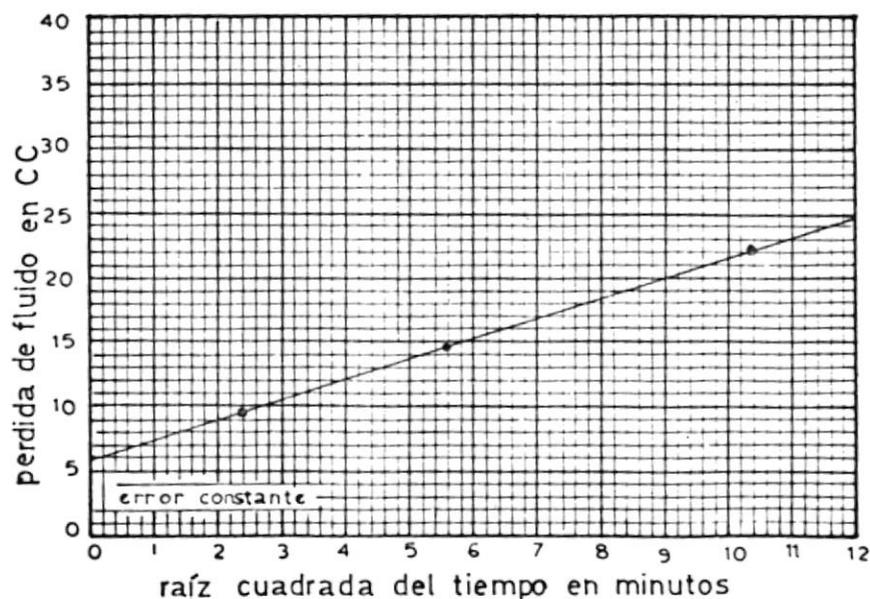


FIG. 7. RELACION DEL FLUIDO PERDIDO CONTRA EL TIEMPO

La ecuación de filtración es:

$$Q_2 = Q_1 \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$$

Donde:

Q_2 = filtrado desconocido en el tiempo T_2

Q_1 = filtrado conocido en el tiempo T_1 .

Presión.- La velocidad de filtración depende de la presión. Si el medio filtrante es constante la cantidad de filtrado variará con la raíz cuadrada de la presión. En el caso del enjarre del lodo, ésto no es exacto, porque el enjarre está sujeto a compresiones y ésta nos dará cambios en la porosidad y en la permeabilidad. Si el lodo tiene la cantidad correcta adecuada de material coloidal, un aumento de 100% en la presión no aumentará el filtrado en más de un 10%.

Una distribución coloidal pobre, dará por resultado un gran incremento en el filtrado o sea una curva muy inclinada como la línea A de la figura 8. Una mejor muestra observamos en la línea B; luego una mezcla altamente coloidal de Magcogel dispersada en la forma apropiada y permeabilidad del enjarre disminuyendo el filtrado al aumentar

la presión, como tenemos en la línea C. Esta prueba puede ser de gran utilidad al ingeniero de lodo si se sospecha que la fracción coloidal no se encuentra en la cantidad y tipo apropiado en el lodo. Se hacen pruebas a 100 y 200 lb/pulg² para comprobar esto y tomar los pasos necesarios para la corrección.

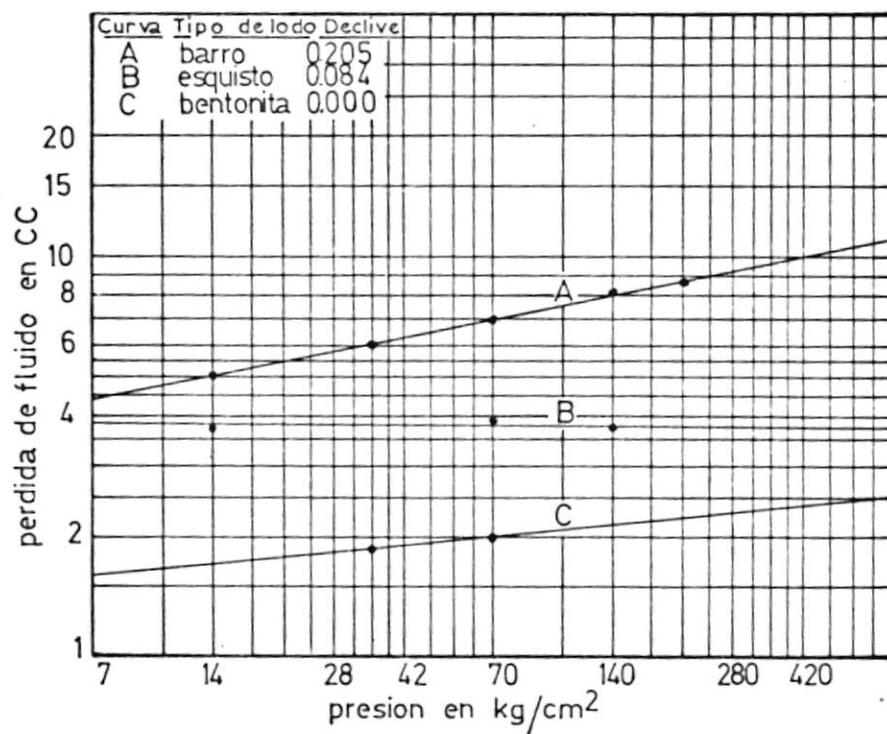


FIG. 8. EFECTO DE LA PRESION EN LA PERDIDA DE FLUIDO

Temperatura.- Con el aumento de temperatura el efecto general, es un aumento de pérdida de agua. Un aumento de temperatura siempre disminuye la viscosidad de la fase fluida y así

de esta manera se aumenta la pérdida de agua, permaneciendo los otros factores constantes.

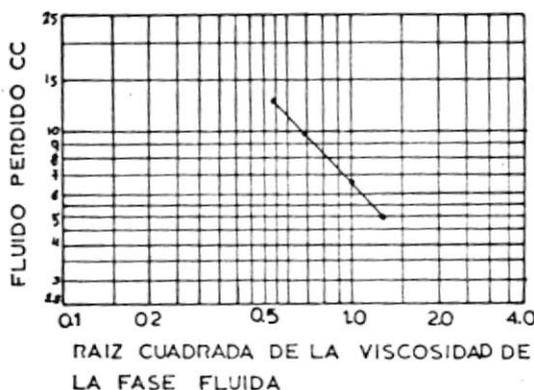


FIG. 9. RELACION DE LA PERDIDA DE FLUIDO CONTRA LA VISCOSIDAD DE LA FASE FLUIDA

Cuando los otros factores son constantes, la cantidad de filtrado variará con la raíz cuadrada de la viscosidad de la fase fluida. En fórmula será igual:

$$Q_2 = Q_1 \sqrt{\frac{\text{Vis } 1}{\text{Vis } 2}}$$

Donde:

Q_2 = Pérdida de fluido desconocida a la Vis 2

Q_1 = Pérdida de fluido conocida a la Vis 1

Un mayor calentamiento puede causar la floculación - de algunas arcillas y el aumento de la velocidad de filtración. Esto puede ser debido a cambio en la atmósfera iónica alrededor de las partículas de arcilla y cambio en la solubilidad, ionización y absorción.

- 3.4. Gelatinosidad. - La mayoría de los fluidos de perforación - presentan cierto grado de tixotropía. Un fluido tixotrópico es aquel capaz de originar una transformación del estado líquido al estado gelatinoso con el reposo y que vuelve al estado líquido por simple agitación. La reacción - solución gel es reversible y esencialmente Isotérmica.

Fuerza de Gelatinosidad o de Gel. - Esta es una medida del esfuerzo de corte requerido para producir una deformación permanente del gel, después de un tiempo de reposo dado.

La fuerza de gelatinosidad se refiere a la fuerza final del gel después de que un flujo ha permanecido sin movimiento el tiempo suficiente para que la fuerza de gelatinización llegue a su máximo.

La Rata de gelatinización es el tiempo de formación de la gelatina. Si el gel se forma lentamente, luego de que el lodo está en reposo, se dice que la rapidez o rata de gela

tinización es baja, o si la formación del gel es un tiempo corto después que el lodo está en reposo la rapidez de gelatinización es alta.

Un lodo con propiedades de gelatinización se dice que es un lodo "tixotrópico" y esta propiedad es la que hace que los ripios estén en suspensión.

Los valores de gel usualmente son tomados el primero a los 10 segundos y se llama Gel inicial (G_i) y el otro a los 10 minutos y se lo denomina Gel final (G_{10}) y es expresado en libras/100 pie².

En muchos lugares se requiere el uso de lodos de baja fuerza de gelatinosidad, ya que estos reducen al mínimo las bajas de presión en el fondo del pozo originadas al sacar tubería de perforación y permiten que escapen del lodo pequeñas burbujas de gas, con ello se disminuye el peligro de brotes violentos e inesperados de gas o aceite. Los lodos que tienen fuerza gelatinizante de 0 inicial y 0 a 10 minutos se consideran como muy apreciables en la Costa del Golfo de los Estados Unidos. La contaminación con calcio de los lodos de agua dulce, origina una característica llamada "FLAT" gel, como una de 20 g inicial y 20 g de fuerza -

gelatinizante a los 10 minutos, a la que se llamaría "altamente desinflado Gel". Rara vez se usa en perforaciones profundas lodos con fuerza de gelatinosidad mayor de 8 g inicial y 40 gr a los 40 minutos. Los productos químicos que se usan para reducir la viscosidad también reducen la gelatinosidad.

Cuando se tiene valores muy elevados de gelatinización en un lodo de perforación trae consigo problemas como:

- a) La arena y ripios serán atrapados en el barro de las fosas impidiendo su asentamiento, ya que estos causan desgastes al volverlos a recircular.
- b) Las burbujas de gas pueden quedar atrapadas en el lodo, ya que el gel se forma rápidamente sin darle tiempo a elevarse a la superficie de las cantinas para disiparse.
- c) Perjudica para bombear el lodo, ya que se necesitará mayor presión para romper el gel.

Para medir esta propiedad se utilizan los siguientes equipos:

Viscosímetro Stomer	gramos
Viscosímetro Fann	lb/100 pie ²
Shearómetro	lb/100 pie ²

3.5. Contenido de Arena.- En fluido de perforación se le llama arena a las partículas sólidas que no atraviesan un tamiz de 200 mallas.

Se debe tener un control único en el contenido de arena que pueda poseer un fluido de perforación ya que ésta es altamente abrasiva, causa desgaste en las camisas, válvulas y asientos de la bomba de lodo, líneas de lodo junta giratoria, kelly, tubería de revestimiento, etc.

La cantidad de arena presente en el fluido de perforación no debe exceder del 5%, pues una elevada cantidad de arena puede ocasionar además atascamiento o restricciones en el sistema de circulación.

Se conocen 3 métodos para determinar el contenido de arena y son:

El elutriómetro

El método del cedazo

El método del asentamiento

3.6. Potencial de Hidrógeno.- El pH indica la concentración de iones de hidrógeno y nos da una medida de la acidez o alcalinidad del fluido de perforación en cuestión.

Una solución con un valor de $\text{pH} = 7$ es una solución

neutra, cuando el valor del pH varía desde 0 hasta 7 la solución es ácida, luego cuando la solución tiene un valor de pH que va desde 7 hasta 14 se dice entonces que es tamos frente a una solución alcalina.

La medida del pH en un lodo es utilizada como indicadora de la presencia de contaminantes como son: cemento, sal, anhídrita, etc.

Para la determinación del pH se usan colorímetros y me didores eléctricos.

3.7. Contenido de Sólidos Agua y Aceite

La cantidad de sólidos y líquidos presentes en un lodo de perforación nos indican la necesidad que tiene un flujo de perforación de ser tratado o no. Sabemos que la densidad, el gel y la pérdida de filtración dependen de la cantidad, composición y estructura del contenido de sólidos y por lo tanto se debe tener un buen control de éste.

Los métodos más conocidos para evaluar el contenido de sólidos y líquidos son: el de evaporación, el de destilación y el de verificación gráfica.

3.8. Contenido de Sales

Es el análisis químico que se le hace al lodo de perforación para determinar la cantidad de los contaminantes que están presentes en él. Con este estudio se complementa la interpretación del comportamiento del lodo.

Las sales más comunes que se encuentran presentes y que mas problemas causan son: los cloruros, los sulfatos y el calcio, etc.

4. FUNCIONES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION

En la actualidad las funciones que debe cumplir un lodo de perforación en operación de perforación por el método rotatorio para una rápida y segura operación y una máxima productividad de las formaciones petrolíferas son las siguientes:

- 1) Saca los cortes del fondo del agujero y los acarrea a la superficie.
- 2) Enfria y lubrica la barrena y tubería de perforación
- 3) Formación de un enjarre en la pared del pozo.
- 4) Control de las presiones debajo de la superficie.
- 5) Mantener en suspensión el ripio cuando se interrumpe la circulación.
- 6) Desprender la arena y cortes en la superficie.
- 7) Soportar parte del peso de la tubería y casing

- 8) Reducir a un mínimo cualquier efecto adverso sobre la formación adyacente al agujero.
- 9) Asegurar la información máxima acerca de las formaciones penetradas.

4.1. Remoción del Ripio del Pozo

Por razones técnicas y económicas el ripio debe removerse tan pronto como sea cortado, para prevenir que la barrena lo continúe triturando. El fluído que sale de los chorros de la barrena, ejerce una acción de limpieza sobre los roles de la barrena y la cara del fondo del agujero. Así en esta forma tendremos una mayor vida de la barrena y una mayor eficiencia en la perforación.

El fluído circulante se levanta del fondo acarreando los cortes hacia la superficie. Por influencia de la gravedad los cortes tienden a asentarse a través del fluído ascendente, pero circulando una cantidad suficiente de fluído con la velocidad suficiente, es posible nulificar este efecto, acarreando los cortes a la superficie. La capacidad de transporte de un lodo depende de: a) Velocidad de ascenso del fluído por el espacio anular, b) densidad del lodo, 3) viscosidad del lodo, 4) densidad, tamaño y forma del ripio.

La velocidad en el espacio anular es un factor importante para sacar los cortes a la superficie. Se usa con mucha frecuencia velocidades comprendidas entre 100 y 200 pies/min. La velocidad depende de la capacidad de la bomba, tamaño del agujero y de la tubería de perforación. - La velocidad en el espacio anular se calcula:

$$\text{Velocidad anular} = \frac{\text{Gasto de la bomba (barriles/min.)}}{\text{Volumen anular (barriles 100 pies)}}$$

Analicemos ahora a que una partícula de ripio debe su movimiento. Sabemos que es a la velocidad ascendente del lodo, que debe ser mayor que la velocidad de asentamiento de las partículas. Esta velocidad de asentamiento depende del tamaño, densidad y forma de la partícula y del efecto de flotación por densidad del lodo. La velocidad de asentamiento será mayor cuando mayor sea la densidad y el tamaño de la partícula, pero será reducido por el efecto de flotación del lodo, el cual es directamente proporcional a su densidad.

En resumen, la velocidad efectiva del ascenso de la partícula vendrá a ser la diferencia entre la velocidad ascensional del lodo y la velocidad de asentamiento de la

partícula, luego tendremos que las partículas más pequeñas se moverán más rápido que las grandes del mismo material, y las partículas más livianas se moverán más rápido que las más pesadas del mismo tamaño.

La densidad es el peso por unidad de volumen y tiene un efecto de flotación sobre las partículas, luego aumentando la densidad del lodo aumentamos la capacidad de acarreo.

La viscosidad depende de la concentración, calidad y dispersión de los sólidos suspendidos.

4.2. Enfría y Lubrica la barrena y tubería de Perforación

Esta propiedad del lodo consiste en asegurarnos un buen funcionamiento de la barrena y la Sarta, produciendo por consiguiente una eficiente y económica perforación de las formaciones. Durante el movimiento rotatorio se produce un efecto friccional que se opone al movimiento de la sarta y de la barrena produciendo un momento torsional opuesto al impuesto por la mesa rotatoria, pudiendo de esta manera hacer que la sarta se tuerza, lo cual es salvado por la propiedad de lubricación que tiene el lodo de perforación, el cual forma una película molecular que ac-

túa como lubricante, eliminando de esta manera la fricción y el rayado de la sarta.

Estos efectos friccionales son vencidos por la energía que es impuesta sobre la sarta de perforación, y ésta energía se transforma en calor, aumentando la temperatura, causando esto una reducción en la resistencia del acero a las diferentes clases de esfuerzos que está sometido, lo cual trae como consecuencia un desgaste muy rápido de los dientes de la barrena y rotura de la sarta.

Luego hay que agregar a este calor, el producido por las mismas formaciones perforadas que dependen del gradiente geotérmico del lugar.

El lodo base agua posee propiedades lubricantes pero en peso en bajo grado, por lo cual es necesario agregarle aceite combinado con agentes emulsificantes, aumentando de esta manera el poder de la lubricidad del lodo.

4.3. Formación de un enjarre en la pared del Pozo

El lodo tiende a introducirse en los poros y ranuras de las formaciones debido a la presión diferencial existente entre la presión hidrostática y la presión de la formación.

La pequeñez de los poros impide la penetración de los sólidos suspendidos en el lodo, dentro de la formación. - Estos sólidos se acumulan en la entrada de los poros y de esta manera se forma el revoque y se distribuyen de tal manera que actúan como un puente en la entrada del poro.

Un buen lodo de perforación deberá depositar un buen enjarre en la pared del agujero para consolidar la formación, retardar y reducir la entrada del fluido a la formación.

Los factores que afectan la calidad y espesor del revoque son: 1) El porcentaje de sólidos existentes en el lodo, 2) las propiedades coloidales del lodo, 3) la permeabilidad de la formación, 4) la rata de flujo del lodo, 5) la presión hidrostática del lodo, y 6) la presión de la formación.

Cuando se tiene un lodo con deficiente grado de retención de fluido, éste se lo puede mejorar aumentando la fricción coloidal del lodo, agregando bentonita y/o tratando químicamente el lodo para mejorar la dispersión y distribución de sólidos. También se puede mejorar las condiciones para evitar la pérdida de fluido hacia la formación agregando almidón u otras clases de aditivos los cua

les controlan el filtrado hacia las formaciones.

4.4. Control de las Presiones bajo la Superficie

La contención apropiada de las presiones de la formación, depende de la densidad o peso del lodo. La presión normal es igual a 0.465 lb/pie de profundidad, ésta es la presión ejercida por una columna de agua de la formación. Normalmente el peso del agua y los sólidos recogidos de la perforación son suficientes para balancear las presiones de la formación. Sin embargo algunas veces hay presiones anormales como por ejemplo cuando se está perforando horizontes gasíferos a alta presión y la columna del lodo no es suficiente para controlarlos, el gas pasa en forma de pequeñas burbujas, que van aumentando el volumen debido a la reducción de presión a medida que el flujo se acerca a la superficie. El aumento de la concentración de gas en el lodo disminuye la densidad, y por ende rebaja la presión hidrostática, produciéndose así mayor flujo de gas de la formación hacia el pozo. Si tales condiciones no son controladas puede presentarse el peligro inmediato de un reventon.²⁷ En estos casos es necesaria la adición de un material pesado, finamente dividido como barita u otro aditivo que sirva para aumentar la presión hidrostática de

la columna de lodo. Esta presión hidrostática, que la columna de lodo ejerce sobre un punto en el agujero puede calcularse de la siguiente manera:

$$\text{Presión hidrostática} = \text{Profundidad en pies} \times \text{peso del lodo en lbs/gal} \times 0.052$$

4.5. Mantener en Suspensión el Ripio cuando se interrumpe la Circulación.

Los buenos lodos de perforación tienen propiedades para mantener en suspensión los sólidos acarreados a la superficie debido a la gelatinosidad y tixotropía cuando se detiene la circulación.

En el curso de una perforación es necesario parar la circulación del lodo, esto sucede cuando: se va añadir una pareja a la sarta de perforación, hay que reparar el equipo, cambiar la barrena, etc. se queda una cantidad de ripio en el sistema, éste ripio se asentará al pararse la circulación, aumentando de esta forma el peligro de que la barrena se quede atascada y de esta manera se puede hasta perder el pozo si no se puede recuperar esta barrena.

Podemos impedir este asentamiento de ripios adicionando al lodo una buena bentonita con un grado de gelatiniza-

ción excelente, quedando los ripios atrapados dentro del lodo. Estos ripios provienen de las formaciones perforadas.

4.6. Desprender la Arena y Cortes en la Superficie

Después de continuada la circulación el lodo regresa a su condición de fluido y estas partículas se depositan en la superficie junto con la arena. Para medir la cantidad en el lodo, se usa la malla y el tubo de arena. Una comparación del contenido de arena en la salida del lodo con la que tiene en la succión de la bomba, nos dará indicaciones acerca de si la arena se está asentando en forma apropiada en la superficie o si se recircula.

Cuando estamos perforando formaciones muy arenosas tendremos un alto contenido de arena, y la cantidad de arena presente en el lodo debe ser menor al 2% en caso contrario hay que eliminarla ya que ésta arena es altamente abrasiva y si recircula en el sistema las bombas y uniones pudieran terminar dañadas.

4.7. Soporte del Peso de la Tubería y Casing

Al aumentar la profundidad perforada, el peso soportado por el equipo de superficie va aumentando considerablemente. Debido a que la tubería de perforación o el casing está su-

mergidos en el lodo de perforación, sufren un empuje de a bajo a arriba igual al peso del lodo desplazado, un aumento en la densidad del lodo, aumentará el empuje y necesariamente reducirá el peso total soportado por el equipode superficie.

4.8. Protección del Agujero

Los derrumbes de la pared del pozo son evitados por las propiedades que posee el fluido de perforación, así sabemos que el fluido ejercerá una presión hidrostática que es ejercida por la columna de lodo y ésta se ejercerá directamente sobre la pared, para así de esta manera oponerse al derrumbamiento y también por la disminución de la cantidad de filtrado que entra a la formación.

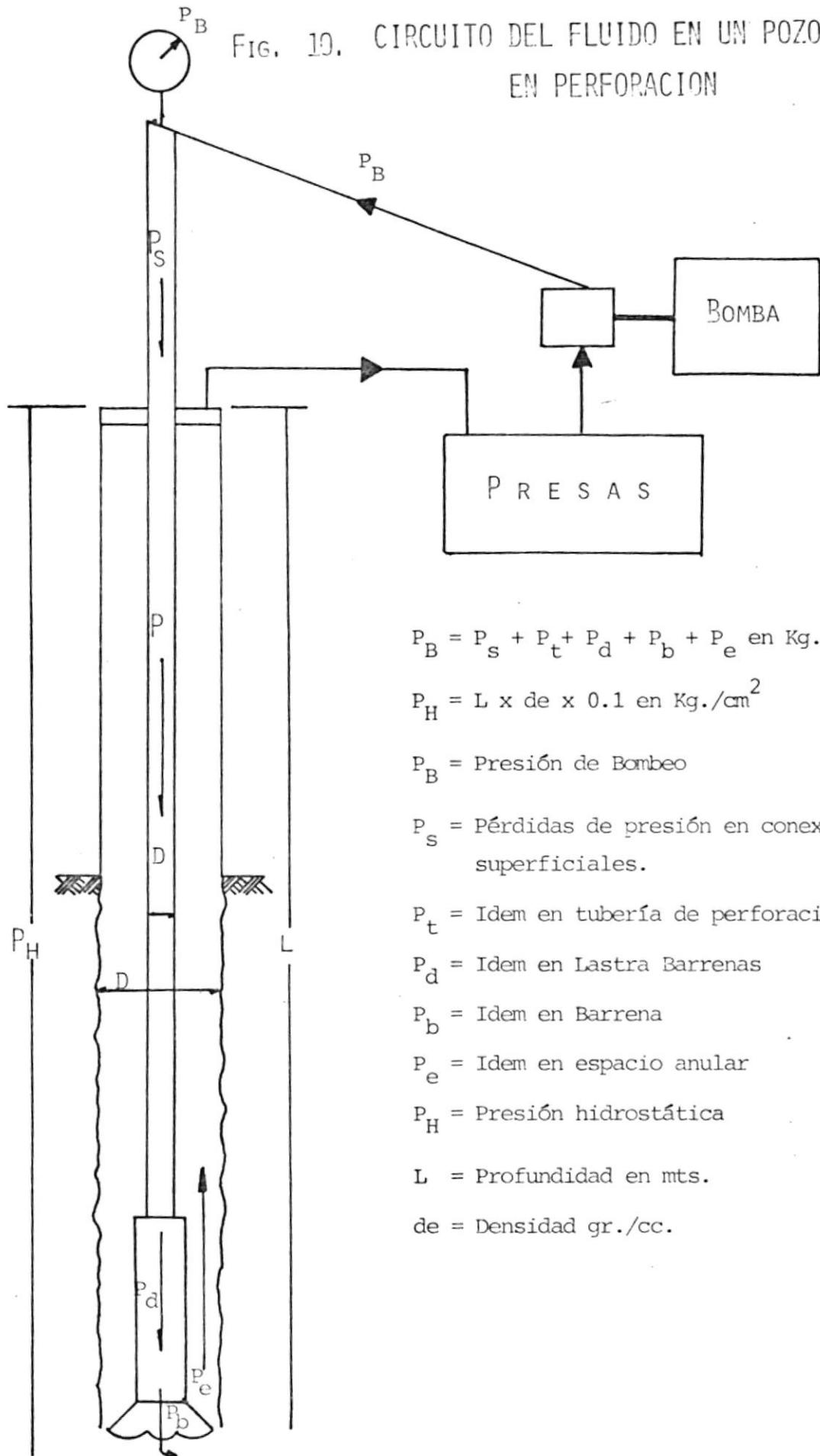
4.9. Seguridad de Obtener la Máxima información sobre el agujero

En muchas ocasiones deben sacrificarse algunas propiedades para obtener una máxima información de las formaciones perforadas así tenemos que la sal puede contaminar el lodo y aumentar la pérdida de agua, sin embargo en muchas ocasiones se la deja para controlar la resistividad y así de esta forma tener una mejor interpretación de los registros eléctricos. El lodo no debe tener una resistividad demasia

da alta, porque impedirá el paso de corriente a las forma
ciones. Si este caso se presenta, se requerirá correr o-
tra clase de registro como el microlog. En cambio cuando
se tiene lodos de baja resistividad (base agua salada) te
nemos el inconveniente de la interpretación de los regis-
tros.

Con el propósito de analizar como sumple el fluído de
perforación con las funciones anteriores veamos cual es -
el recorrido de él a través del equipo de perforación.

1. Los tanques o fosas de lodo
2. Líneas de succión de la bomba
3. Bomba de lodo
4. Conexiones superficiales
5. Tubo vertical ("Stand pipe")
6. Manguera de perforación
7. Swivel, kelly, tubería de perforación, lastrabarrena,
barrena, espacio anular.
8. Vibrador o cernidor de virutas
9. Tanques de asentamiento



$$P_B = P_s + P_t + P_d + P_b + P_e \text{ en Kg./cm}^2$$

$$P_H = L \times d_e \times 0.1 \text{ en Kg./cm}^2$$

P_B = Presión de Bombeo

P_s = Pérdidas de presión en conexiones superficiales.

P_t = Idem en tubería de perforación

P_d = Idem en Lastra Barrenas

P_b = Idem en Barrena

P_e = Idem en espacio anular

P_H = Presión hidrostática

L = Profundidad en mts.

d_e = Densidad gr./cc.

V. EQUIPO EXPERIMENTAL Y ADITIVO

1. EQUIPO A UTILIZARSE

Todas las operaciones de perforación dependen de las propiedades de los lodos, estas propiedades ya sean físicas o químicas son determinadas en el campo y en el laboratorio por equipos y aparatos que cada día están mas avanzados en técnica. De entre ellos, lo que he empleado para la presente investigación, son los siguientes:

Balanza de Lodo BAROID: Este instrumento sirve para determinar la densidad o peso del lodo. La durable construcción de la balanza es ideal para usos en el campo. (Ver figura)

Los rangos de las 4 escalas de la balanza son:

310 - 1250	libras por pulgadas cuadrada por 1000
	pies de profundidad.
6 - 24	libras por galón
45 - 180	libras por pié cúbico
0.72 - 2.88	gravedad específica

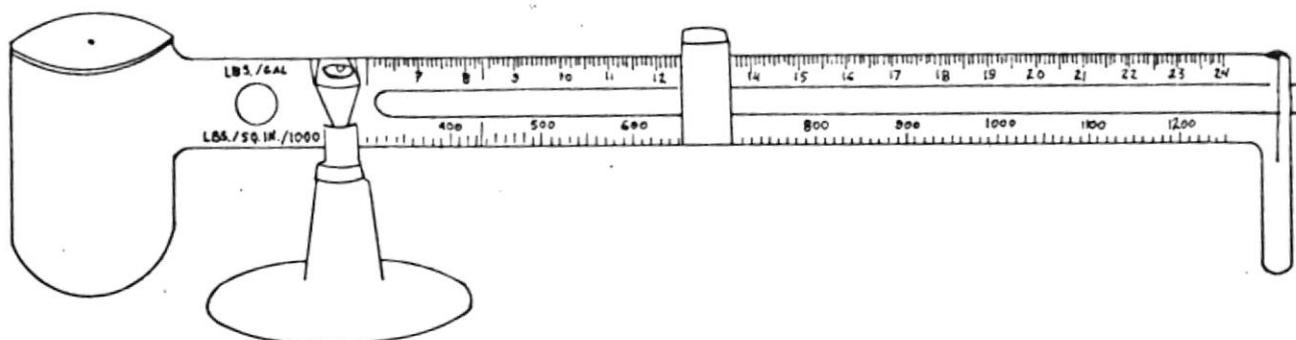


FIG. 11 BALANZA DE LODO BAROID

PROCEDIMIENTO

- Se coloca la base de la balanza en una superficie nivelada.
- Saque la tapa y llene la copa hasta el tope con la muestra a ser probada. Si burbujas de aire han sido atrapadas en el lodo, se golpea ligeramente la copa hasta que salgan las burbujas por el orificio de purga.
- Coloque la tapa y r tela hasta que se asiente firmemente sobre la copa, asegurándose de que un poco de lodo salga por el orificio de purga.
- Limpie el exterior de la balanza
- Se coloca la balanza en la base haciendo que descanse sobre el punto de apoyo y se pesa el lodo.
- Lea el peso del lodo en el lado pesa-cursos próximo a la copa.

RESULTADO

Reporte el gradiente hidrostático en libras por pulgada cuadrada por 1000 pies de profundidad (psi/ft.)

Reporte el peso en libras por galon (lb/galon) o libras por pie cúbico (lb/pie³) o como gravedad específica (gm/cc o Kgm/L).

CUIDADO DEL INSTRUMENTO

Limpie y seque cuidadosamente después de cada uso. La calibración del aparato se la hace midiendo la densidad del agua a 21°C, la cual debe darnos 8.33 lb/gal. El ajuste se hace poniendo o quitando municiones en el depósito ubicado en un extremo de la balanza.

VISCOSIMETRO FANN (Modelo de Laboratorio).

Este aparato sirve para determinar las viscosidades y el grado de gel del lodo de perforación. Este viscosímetro es de lectura directa y opera a seis velocidades diferentes 3,6,100,200,300 y 600 rpm, los cambios de velocidad se hacen cambiando los engranajes y la velocidad del motor.

El procedimiento para determinar las viscosidades y el punto Cedente es el siguiente:

- Se coloca una muestra de lodo recientemente agitado en

el recipiente apropiado, en la base movable y se levanta hasta que el nivel del lodo coincida con la línea marcada en la manga giratoria.

- Se da arranque al motor colocando el switch en la posición de alta velocidad a 600 rpm, luego espere que se estabilice la lectura y anotela. (1 minuto).

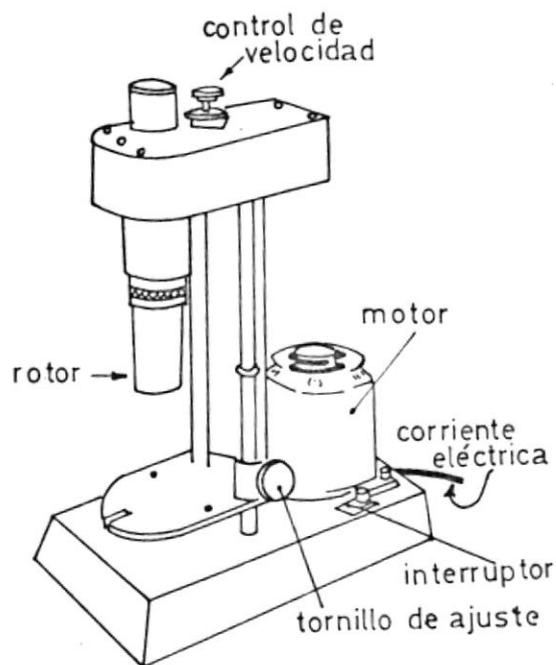


FIG. 12. Viscosímetro Multirotacional Fann.

- Luego cambiamos a 300 rpm. y se espera (1 minuto) que se estabilice la lectura y anote este valor.

- La viscosidad aparente V_a = lectura de 600 rpm dividida por 2.

(cps)

$$V_a = \frac{L600}{2}$$

Viscosidad plástica en centipoise $V_p = \text{Lectura de 600} - \text{Lectura de 300 rpm.}$

Punto cedente en $\text{lb}/100 \text{ pie}^2$ $Y_p = \text{lectura de 300} - \text{viscosidad plástica.}$

$$Y_p = L_{300} - V_p (\text{lb}/100 \text{ pie}^2)$$

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA FUERZA DE GELATINIZACION

- Se coloca una muestra de lodo recientemente agitado en el recipiente apropiado, en la base movable y se levanta hasta que el nivel del lodo coincida con la línea marcada en la manga giratoria.
- Se da arranque al motor a 600 rpm y se lo cambia a 3 rpm se para el motor y se espera 10 segundos.
- Al cabo de ese tiempo se da arranque al motor y se anota la deflexión máxima en libras por 100 pies cuadrados como la gelatinosidad inicial, si el aparato no regresa a cero no debe ajustarse a cero.
- Luego se apaga el motor y se lo deja en reposo durante 10 minutos, después se da arranque y se anota la deflexión máxima como la gelatinosidad a los 10 minutos.

CUIDADO DEL INSTRUMENTO.-

Limpie el instrumento haciéndolo girar a alta velocidad con el rotor sumergido en agua u otro solvente. Quite el

rotor de manga, girando suavemente para soltar el perno de retención, limpie la plomada en forma eficiente.

FILTRO PRENSA BAROID.- Las propiedades de filtración de los lodos de perforación son determinadas en el filtro prensa Baroid. Se trabaja a 100 lbs/pulgada cuadrada.

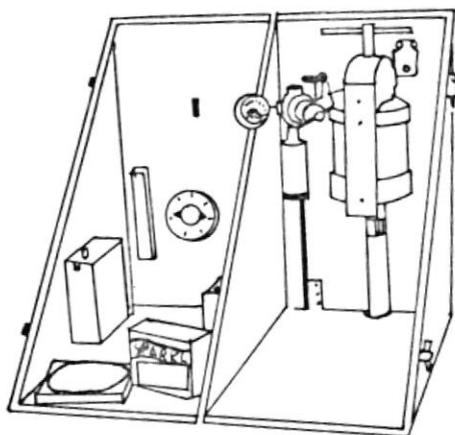


FIG. 13. FILTRO PRENSA ORDINARIO

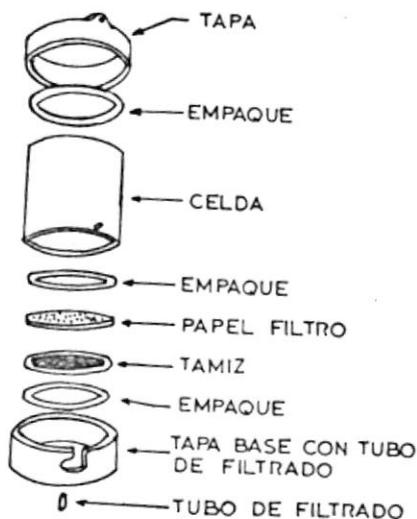


FIG. 14. ESQUEMA DEL FILTRO: ENSAMBLAJE DE LA CELDA DE LODO

PROCEDIMIENTO

- Arme la celda en el siguiente orden: tapa de fondo, empaque, malla, papel filtro, empaque, celda, empaque y luego la tapa superior.
- Todo el equipo debe estar completamente seco.

- Llene la celda con la muestra a ser probada hasta 1/4 de pulgada del borde del tope. Coloque la celda en el marco y coloque la tapa superior y apriete el tornillo "T" Superior.
- Coloque una probeta seca para recibir el filtrado debajo del tubo de filtrado.
- Con el regulador(tornillo "T") en posición hacia afuera (posición cerrada), coloque la bombona, luego aplique 100 libras por pulgada cuadrada de presión, ajustando el tornillo "T", a la celda. Desde aquí comienza el tiempo de prueba.
- Al final de los 30 minutos se cierra la válvula con el tornillo "T", se abre la válvula de escape.
- Se lee el volumen de filtrado recogido en la probeta.
- Se retira la celda del soporte, se tira el lodo, se desarma y se obtiene el papel filtro con el enjarre. Se lava el enjarre y se mide su espesor.

PRECAUCION

- Mantenga el regulador "T" en la posición cerrada (hacia afuera) antes de poner la bomba de gas.
- No use oxígeno. En la presencia de aceite, oxígeno puede combinarse y explotar.

RESULTADOS

- Reporte la pérdida de filtrado en ml como la pérdida de filtrado API en 30 minutos.
- El enjarre es reportado en pulgadas sobre 32.
- Propiedades de la costra tales como: textura, dureza, flexibilidad, etc. también pueden ser reportadas.

CUIDADO DEL INSTRUMENTO

Después de cada uso, lave, seque y arme el filtro prensa para la próxima prueba. El tornillo "T" deberá siempre estar en la posición cerrada (lo más hacia afuera que se pueda) excepto durante la prueba.

NOTA: También se suele tomar el filtrado a 7 1/2 y luego multiplicarlo por dos lo cual nos da una estimación aproximada de lo que se obtendría durante 30 minutos.

FILTRO PRENSA BAROID N° 387 DE ALTA PRESION Y ALTA TEMPERATURA.

El Filtro prensa es especialmente diseñado para prueba de lodo a elevadas temperaturas y presiones. Consiste de una chaqueta - termostato de calentamiento, una celda filtro de 250 ml. y una unidad de presión. El receptor contra presión debe ser usado para pruebas arriba de los 200°F.

OPERACION

- Conecte la chaqueta termostato a una corriente alterna de 110 V. durante una hora o más antes de iniciar una prueba. Ponga el termómetro en el hueco de la chaqueta. Regule el termostato hasta aproximadamente el valor me dio de la escala. Revise ocasionalmente el termostato y el termómetro. El termostato piloto (foco) prenderá cuando la chaqueta alcanza la temperatura indicada.
- Para cargar la celda afloje los tornillos del cuerpo de la celda hasta que pueda quitarse la tapa del cuerpo de la celda.
- Ajuste la válvula madre en el cuerpo y luego llene la celda con lodo hasta $3/4$ de pulgada del tope, tomando mucho cuidado de no salpicar lodo en los empaques (partes sellos de la celda).
- Ponga cuidadosamente un papel filtro sobre los empaques y luego coloque la tapa cuidadosamente en la celda asegurandose que los tornillos calsen en los huecos respec tivos.
- Ajuste y cierre la válvula madre en la tapa.
- Introduzca la celda en la chaqueta hasta que calse en el agujero del fondo de la chaqueta. Espere unos 30 minutos para que la celda se caliente. Mida la temperatura de la

celda insertando el termómetro en el orificio correspondiente.

- Coloque la unidad de presión sobre la entrada de la válvula madre inserte el pin de cerradura en su lugar para que quede fija.
- Saque el cilindro (barril) de la unidad de presión y coloque un cartucho de CO_2 . Atornillelo en la unidad y ajuste para pinchar el cartucho.
- Ajuste (atornille) el regulador para tener la presión deseada, luego abra la válvula de entrada girando el tronco (soporte) alrededor de una media vuelta.
- Coloque un tubo graduado debajo de la válvula madre de drenaje de la celda y desenrosquela (válvula) una media vuelta para empezar la filtración.
- Después de que termine la prueba de filtración cierre ambas válvulas de entrada y salidas.
- Afloje el tornillo regulador "T", luego desahogue la presión del manifold con la válvula correspondiente (de boca ancha), hale el pin de cerrojo y levante la unidad de presión.
- Quite la celda de la chaqueta y enfríela en agua.
- Mantenga la celda con la tapa hacia abajo y afloje la válvula superior para desahogar la presión.

- Afloje los tornillos que sujeta la tapa y quítela con un movimiento vertical de balanceo.

Para pruebas de más de 200°F el procedimiento es el mismo hasta el paso 9 excepto que el receptor de contrapresión debe ser usado para prevenir la evaporación del filtrado. Luego se sigue los pasos:

- Coloque el receptor de contrapresión sobre el soporte de drenaje e inserte el pin de cerradura.
- Coloque un cartucho CO₂ en el cilindro y ajústelo.
- Cierre las válvulas de drenaje y desahogo en el receptor luego enrosque el regulador hasta tener una presión de 100 psi (nota: esta reduce la presión de filtración efectiva en 100 psi).
- Desenrosque la válvula de drenaje y gire la media vuelta para empezar la filtración.
- Luego de terminar la filtración cierre la válvula de entrada y de salida. Afloje el tornillo regulador T para cerrar el paso de la presión al sistema.
- Desahogue la presión del manifold y del receptor abriendo la válvula; entonces quite ambas unidades halando el pin de cerrojo.
- Quite la celda de la chaqueta y enfríela en agua.

PRECAUCION

Cuando la celda está por encima de 200 °F es muy peligroso

aflojar los tornillos de la tapa. Asegúrese de que la celda ha sido bien enfriada por lo menos 10 minutos en agua fresca o más de 1 hora en el aire y que la presión ha sido desahogada antes de intentar quitar la tapa.

- Mantenga la celda con la tapa hacia abajo y afloje la - válvula de entrada para desahogar la presión.
- Afloje los tornillos de la tapa y quítela con un movimiento vertical de balanceo.
- El volumen de filtrado debe ser corregido en base al área de filtrado de 7.1 pulgadas cuadradas. Para el filtro prensa BAROID N° 387 se requiere que el volumen de filtrado sea duplicado.

PROCEDIMIENTO PARA PRUEBAS DE FILTRACION A ALTA TEMPERATURAS PARA FLUIDOS DE PERFORACION.

El siguiente es el procedimiento de la prueba estandar para 300°F a 500 psi. adoptada por el API para usar el filtro prensa BAROID N° 387 de alta temperatura y alta presión, el cual tiene un área de 3.5 pulgadas cuadradas.

- Conecte la chaqueta - termostato de calentamiento a 110V. o el voltaje correcto para la unidad antes de que la prueba esté siendo realizada. Coloque un termometro en el orificio correspondiente. Precalentar la cámara a 310°F ajuste el termostato en el orden para mantener la temperatura

constante.

- Tome el lodo de la línea de flujo o precalentado mientras se está batiendo a 120 - 130°F.
- Cargue la celda como es recomendada por los manufactureros. Un cuidado debe ser ejercido para no llenar la celda hasta el cierre, sino 3/4 del tope para permitir la expansión.
- Coloque la celda dentro de la chaqueta con las válvulas de tope y fondo ambas cerradas. Transferir el termómetro al hueco correspondiente en la celda.
- Coloque la unidad de presión sobre la válvula tope y asegúrese en su sitio. Coloque el recipiente del fondo de presión y asegúrelo en su sitio. Aplique 100 psi ambas unidades de presión con las válvulas cerradas. Abra la válvula tope y aplique los 100 psi al lodo mientras se esta calentando.
- Cuando la muestra alcance 300°F abra la válvula del fondo e incremente la presión del tope de la unidad de presión a 600 Psi para empezar la filtración. Colecte filtrado por 30 minutos manteniendo la temperatura \pm 5°F. Si desea anote el volumen surgido después de 2 segundos. Si la contrapresión aumenta por encima de 100 psi. durante la prueba cuidadosamente desahogue la presión para colectar una porción de filtrado. Anote el volumen total.

- El volumen de filtrado deberá ser corregido a una área filtro de 7.1 pulgadas cuadradas (si el área filtro es de 3.5 pulgadas cuadradas, doble el volumen de filtrado y repórtelo).

NOTA: Esto se aplica al filtro prensa BAROID N° 387

- Al fin de la prueba cierre ambas válvulas. Desentornille el regulador "T" y desahogue la presión para ambos reguladores.
- Tome precaución, pues la celda filtro deberá todavía - contener aproximadamente 500 psi. Mantenga la celda en posición hacia arriba y enfríela a la temperatura del ambiente. (después que la celda está fría continúe manteniéndola hacia arriba o sea el tope hacia abajo). Aflojando la válvula tope lentamente desahogue la presión.
- No use el filtrado para análisis químico.

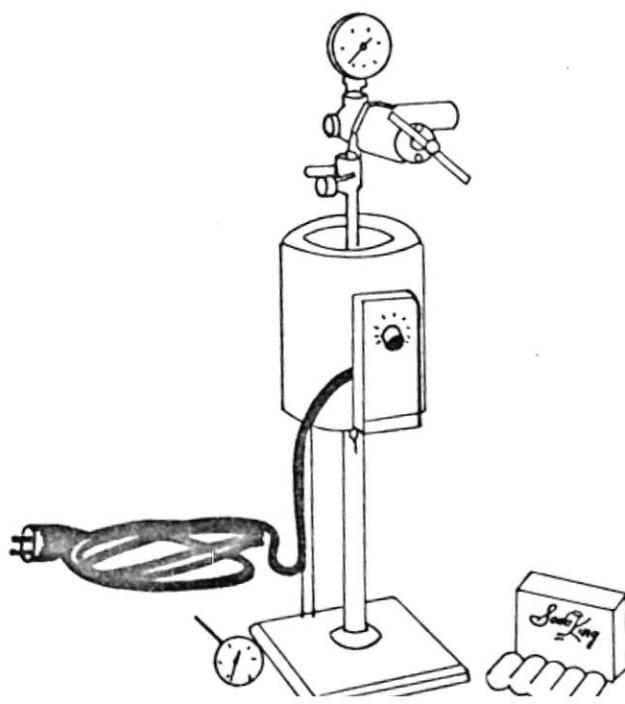


FIG. 15 FILTRO PRENSA
AP AT.

CONTENIDO DE ARENA

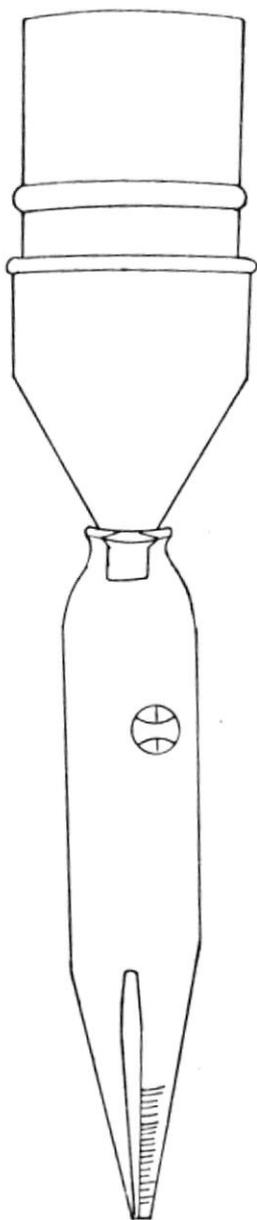
Instrumento.- El contenido de arena de un lodo se determina por medio de una malla para arena y un tubo. Este equipo tiene un colador de 2 1/2 pulgada de diámetro, un embudo y un tubo de vidrio marcado indicando la cantidad de agua y lodo requerido.

El tubo está calibrado de 0 a 20% para leer directamente el porcentaje de arena por volumen.

-Llene el tubo con lodo hasta donde está marcado "Mud to here". Luego agregue agua hasta donde está marcado con "water to here". Cierre la boca del tubo con el dedo y agite vigorosamente.

-Ponga la mezcla en la malla, hasta que el agua de lavado esté limpia. Lave la arena detenida en la malla para limpiarla del lodo restante.

-Embone el embudo en la parte superior del colador, invierta cuidadosamente e inserte la cola del embudo en la boca del tubo. Lave la arena hacia el tubo por medio de un



rociador fino de agua. Deje asentar la arena.

RESULTADO

Reporte el contenido de arena del lodo en porcentaje - por volumen (% por volumen).

CUIDADO DEL INSTRUMENTO

Después de cada uso, lave el colador, embudo y tubo libre de cualquier suciedad y seque cuidadosamente, tome especial cuidado de limpiar y secar la malla de 200 mesh.

MEDIDOR DE pH

Procedimiento

- Chequear la batería poniendo el botón central del aparato en la posición "Bat. Ck."
- Mover el selector (botón central) a la posición de "Standby". Esta posición debe mantenerse durante el lavado, sacada y puesta de electrodos con la finalidad de evitar daños al aparato electrónico.
- Remover la parte terminal del electrodo y lave el mismo - en H₂O destilado por pocos minutos, luego tiene que secarlo.
- Añadir suficiente "buffer solution" hacia un tubo de prueba hasta que cubra al electrodo cuando se lo introduce -

(use la solución "buffer" con un PH mostrado en frasco).
Introduzca el electrodo.

- Colocar el botón de la temperatura (Temp °C) en la temperatura señalada por el frasco que contiene la solución - "buffer".

- Mover el botón selector a la posición "READ".

IMPORTANTE: No tocar el electrodo mientras se realiza la lectura. Aleje su mano 12 pulgadas del electrodo. El uso de un radio de transmisión y de campos eléctricos afectan a la lectura.

- Ponga el medidor al PH de la solución "buffer" haciendo uso del botón denominado "STANDARDIZE".
- Mover selector a la posición "STANDBY".

NOTA: Viendo la lectura en esta posición o alteraciones electronicas pueden ser compensados poniendo el medidor en esta lectura con el uso del botón de "STANDARDIZE".

- Saque el electrodo y lávelo en agua destilada
- Introducir el electrodo en la solución a ser determinada su PH.
- Poner el selector en la posición "READ".
- Agite la solución para obtener una buena y estacionaria lectura. Espere unos cuantos minutos por una excelente y fija lectura. Esté seguro de que la temperatura esté en su posición correcta. Sacar la mano del electrodo antes

de la lectura.

- Ponga el selector en la posición "STANDBY" antes de remover el electrodo de la solución.

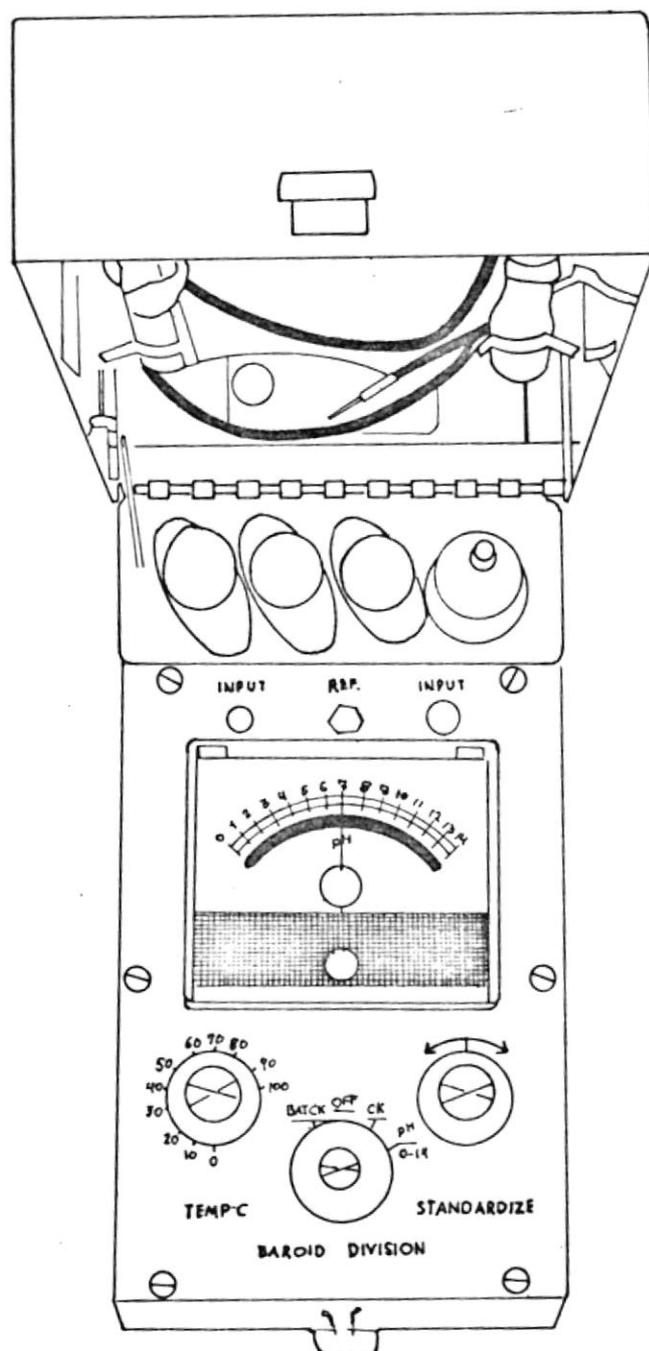


FIG. 17. pHMETRO

- Para repetir el procedimiento con otras muestras repita los pasos 9,10 y 11.
- Una vez terminada la operación ponga el botón selector en la posición "OFF". Lave el electrodo en agua destilada y límpielo cuidadosamente con kleenex. Note que ninguna película de aceite o polvo quede adherida a la superficie del electrodo.
- Antes de guardar el electrodo, moje el mismo con pocas gotas de una solución buffer de PH 7 o agua destilada y ponga su protector plástico.

CONTENIDO DE SOLIDOS Y LIQUIDOS

Para determinar el contenido de sólidos y líquidos he empleado la Retorta de destilación para lodos.

PROCEDIMIENTO

- Se desarma la retorta sacándola primero del block, usando la espátula.
- Se pone la lana de acero en la cámara de evaporación.
- Llène con lodo el recipiente y se ajusta la tapa permitiendo purgar un poco de lodo por el orificio. Se hace escapar el aire si existe.
- Se seca y limpia totalmente y se arma la retora y se le pone en el block.
- Colocar una probeta graduada debajo de la descarga del

condensador. Se puede poner previamente en la probeta de una a dos gotas de agente humectante con la finalidad de separar las fases agua-aceite.

- Conectamos el aparato a una fuente de corriente eléctrica de 115 voltios durante 15 a 20 minutos. Cuando salen gotas oscuras de la retorta, la destilación ha sido completa.
- Al cabo del tiempo estipulado se abre el circuito, es de decir cuando la destilación ha sido completa se lee el porcentaje de agua y aceite obtenidos, el resto es la cantidad de sólidos.
- Si hay humedad fuera de la cámara de calentamiento, la retorta puede tener alguna fuga y darnos resultados erróneos

CUIDADO DEL EQUIPO

Deje enfriar la retorta; limpie la retorta completamente, puede usarse un limpia pipas para limpiar el agujero del condensador.

CALCULOS

A. % de agua = volumen de agua x 10

% de aceite = volumen de aceite x 10

% de sólidos = 100 - (% agua + % aceite)

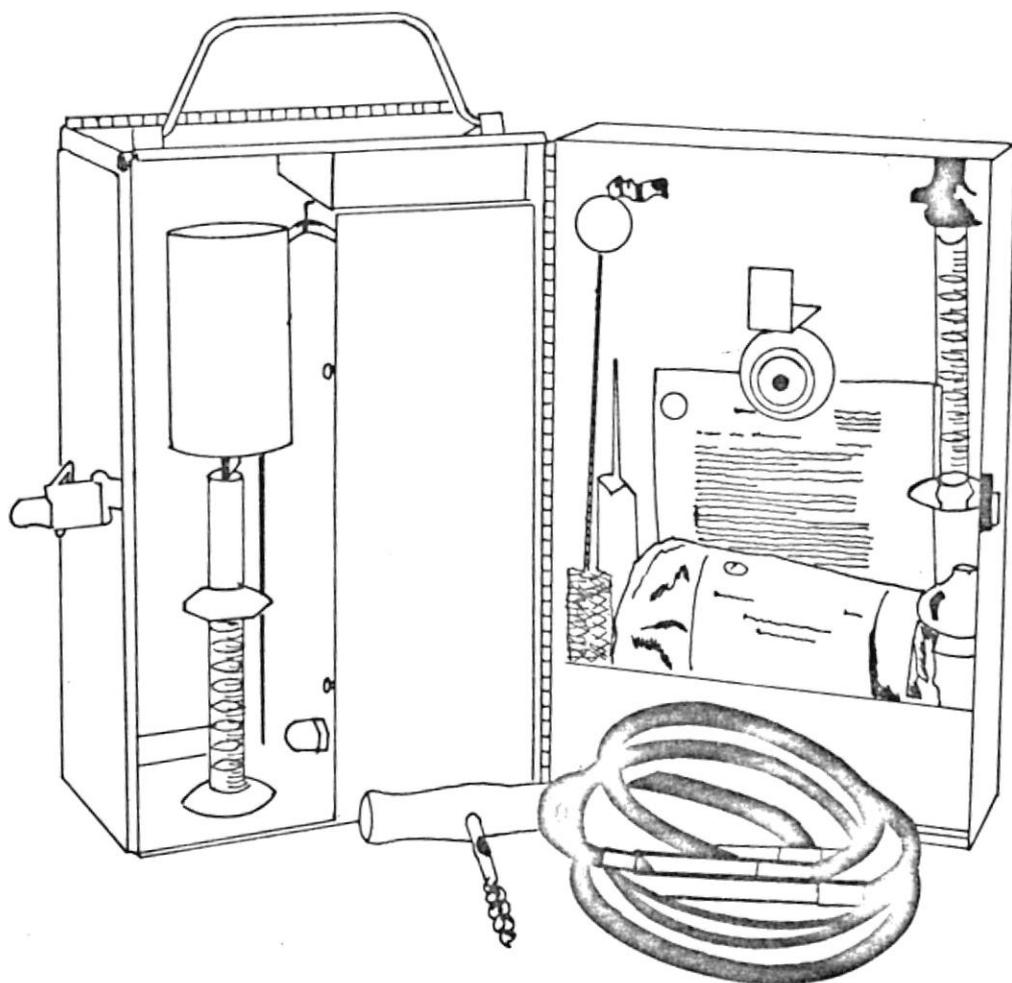


FIG.18. RETORTA BAROID

2. MUESTRAS

Las muestras objeto de esta investigación fueron tomadas de la cuenca sedimentaria del Azuay-Cañar casi en su totalidad. Las muestras N^o 1, N^o 3 y N^o 4, son de la Formación areniscas de Azogues, cerca de la quebrada Shullín.

La N^o 2 fue tomada al Este de la población San Nicolás a 1 1/2 km., de la Formación Guapán.

La muestra N^o 5, del afloramiento de la formación dos Bocas, 1 Km. al norte de la población Sucre vía a Salinas en la provincia del Guayas.

La N^o 6 fue tomada del contacto de la Formación Guapán Azogues.

La N^o 7 de la formación Cushumante, de la Cuenca sedimentaria del Azuay-Cañar.

3. ADITIVOS EMPLEADOS

El trabajo del ingeniero de lodos es saber que propiedades se necesitan para cada una de las funciones que cumple el lodo de perforación. También debe saber el tratamiento correctivo, si el lodo se encuentra deficiente en algunas de sus propiedades, para llevarlo a condiciones óptimas y cumplir de esta manera con la misión encargada., la cual es de la de ayudar a contribuir a una perforación óptima.

El agua sola es algunas veces el fluido ideal de perforación, pero algunas veces no puede cumplir las funciones de los fluidos de perforación, en ese caso es necesario agregarle otros materiales para obtener un fluido adecuado, en todo caso la composición del lodo dependerá de las necesidades de la operación de Perforación.

Se perforan agujeros a través de un gran número de ti

pos de formaciones, las que así mismo requerirán una gran variedad de lodos, de acuerdo al tipo de formación que se está perforando. En algunas zonas se puede comenzar a perforar con agua solamente, ya que éstas son zonas blandas donde se encuentra arcilla y ésta pasa luego a formar parte del fluido de perforación. Luego hay áreas en donde el suelo es duro y además se requieren ciertas especificaciones que cumplan los fluidos de perforación, entonces es necesario agregarle aditivos los cuales mezclados en el lodo cumplirán con su cometido. Por ejemplo queremos que el lodo remueva los cortes de las formaciones perforadas debemos agregarle un aditivo que mantenga en suspensión estos ripios, ahora si se está perforando un pozos a través de formaciones que contienen gas o fluidos a presión el lodo deberá ejercer una presión contra la formación de tal manera que el gas o fluido de la formación no penetre al agujero que se está perforando, entonces requeriremos un lodo que sea pesado y debemos agregar un aditivo que haga pesado el fluido de perforación.

BARITA ($Ba SO_4$) Sirve para producir un aumento máximo de peso y un incremento mínimo en la viscosidad. Su peso específico es de 4.30. Se la utiliza para llevar el lodo de perforación arriba de los 20 lb/galon. da un buen resultado debido a su alta gravedad específica que nos da

el peso deseado y así poder controlar las presiones de formación.

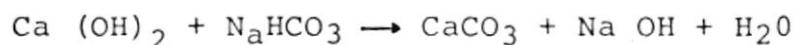
También se la utiliza en pozos profundos de alta presión para formar un tapón temporal en el fondo. Tales tapones son usados para controlar la pérdida de filtración, ya que ésta al asentarse en las aberturas de las rocas las obstruye.

CMC. Es un coloide orgánico, pero su estructura molecular es en forma de cadenas largas. La longitud de estas cadenas determina la influencia relativa que este material tiene sobre la viscosidad y su eficiencia para tapar los pequeños poros en el enjarre. Actúa ya sea como preservativo o también como inhibidor de la corrosión.

Cuando el lodo contiene una concentración bastante grande de sal, la efectividad del CMC se reduce. Su efecto principal es el de controlar la pérdida de filtrado y la viscosidad. Se fabrican en 3 grados, alta, media y baja viscosidad.

CO_3HNa . El bicarbonato de Sodio (NaHCO_3) puede usarse para tratar las contaminaciones de cemento en lodos que han tenido poco tratamiento de sosa.

El bicarbonato precipita el calcio de la contaminación y bajará el pH a 8.3 la reacción es la siguiente:



Sirve para tratamiento de sulfato de calcio o cemento en lodos de alto pH.

En mi trabajo utilicé el bicarbonato con la finalidad de activar las bentonitas y llevarlas de cálcicas a sódicas.

CO_3Na_2 . También conocidas como Soda Ash. Sirve para tratamiento de sulfato de calcio en lodos de bajo pH.

Q - Broxin. Este aditivo lo encontramos clasificado dentro de los dispersantes. También se lo conoce con el nombre de Spersene (Magcobar).

La aplicación primaria es la de ser un dispersante y además controla la pérdida de fluido en lodos de base agua.

SODA CAUSTICA. Está clasificada dentro de los químicos comerciales, también conocida como hidróxido de Sodio, su aplicación primaria es la de controlar el pH en lodos base agua. Esta soda caustica añadida a las suspensiones produce un pronunciado aumento de viscosidad hasta 1 lb/Bbl, luego comienza a descender.

VI. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La bentonita utilizada en la preparación de los fluidos de perforación debe cumplir las siguientes especificaciones establecidas por la norma de calidad de bentonita, y el lodo debe ser preparado de acuerdo a estas especificaciones que a continuación se expone:

NORMA DE CALIDAD DE BENTONITA

(Para Fluidos de perforación y Terminación de pozos Petrolíferos)

1. GENERALIDADES Y DEFINICIONES

Generalidades

La bentonita, objeto de esta norma, es empleada para crear una suspensión coloidal, que sirva para sacar los cortes de la barrena y debe ser capaz de suspender en su seno los materiales provenientes de la perforación y al mismo tiempo formar un enjarre tal que le dé consistencia a las paredes del pozo, disminuyendo la pérdida de fluidos hacia las formaciones mediatas del agujero.

ALCANCE.- Esta norma se refiere a las bentonitas usadas en fluidos de perforación y terminación de pozos petrolíferos.

DEFINICIONES.- Se entiende por bentonita un conjunto de arcillas donde la mayor proporción de ellas pertenece al tipo de la montmorillonita Sódica, las cuales habiendo sido beneficiadas llenan las especificaciones de esta Norma.

Especimen.- Es cada una de las porciones de producto extraídas de las unidades de producto para formar la muestra representativa.

Muestra Representativa.- Es el conjunto de especímenes mezclados para formar una muestra homogénea.

Muestra Representativa reducida.- La muestra representativa se reduce por cuarteos hasta aproximadamente un kilogramo, lo cual constituye la muestra representativa reducida.

Muestra para Análisis.- Es la cuarta parte de la muestra representativa reducida suficiente para verificar en ella todas las pruebas requeridas por esta norma.

APARATOS

Para tomar los especímenes.- Recipientes apropiados
Sonda para muestrear Sólidos
Un saco de los utilizados para en
vase.

Para preparar la muestra para análisis.- Charolas
Colector
Fracos de Polietileno de boca ancha, de un litro y de cierre hermético.

PROCEDIMIENTO

Estibado.- Los lotes de entrega deben estar estibados como lotes unitarios de 1.000 sacos cada uno, de tal forma que el 100% de los sacos sea accesible al muestreo por medio de su válvula, dejando un corredor libre entre estibas de por lo menos 50 cm. con una altura máxima de 16 camas.

Tamaño de Muestra.- Para lotes de entrega menores de 1.000 sacos el tamaño de muestra es la raíz cuadrada del número de sacos, seleccionados de acuerdo con selección de unidades de producto.

Para lotes unitarios (1.000 sacos) el tamaño de muestra es de 32 sacos, los cuales deben ser seleccionados de acuerdo con unidades de producto.

SELECCION DE UNIDADES DE PRODUCTO

Para la selección de las unidades de producto que constituyen el tamaño de muestra se debe tomar como base las tablas de número aleatorios, siendo el programa de muestreo fijado por el comprador.

CRITERIO DE ACEPTACION O RECHAZO

El criterio a seguir para la aceptación o rechazo del lote será el siguiente: se procede a aceptar el lote de todos los resultados de las pruebas cumplen con las especificaciones de la Norma. El lote se rechazará si uno o más de los resultados de las pruebas no cumplen con la Norma.

Marcado.- Cada Saco deberá llevar impreso, por lo menos en una de sus cargas y con caracteres, lo siguiente:

Nombre del producto
Nombre, Razón Social, Marca registrada
Número progresivo de lote de producción
Peso neto al envasar
La leyenda "Hecho en Ecuador"

Envasado.- Las bentonitas deben ser envasadas en sacos de

50 Kg, mts. de producto $\pm 5\%$, en bolsas de 5 capas de papel Kraft, siendo la primera de ellas de 80 g/m^2 , y las 4 restantes de 70 k/m^2 . La tercera o cuarta de dichas capas deberá ser impermeabilizada por medio de una capa de plástico adherida al papel previamente a la manufactura de la bolsa, el plástico debe tener un espesor mínimo de 0.13cm. los sacos deberán tener válvulas.

3. METODO DE PRUEBA

3.1. Determinación de Humedad

Alcance.- Para la determinación de la humedad en los productos empleados en la manufactura y tratamiento de flujos de perforación, reparación y terminación de pozos petrolíferos que no se descompongan a temperaturas de 110°C o mayores.

Aparato y equipo.- Una balanza analítica de precisión

Desecador

Pesa filtro o recipiente que lo sustituya apropiadamente.

Estufa de Secado.

Procedimiento.- Pese aproximadamente 10 gramos de bentonita con la exactitud de la balanza. Seque a peso constante a una temperatura de $105^\circ\text{C} \pm 3$. Enfríe la muestra en un desecador. Pese de nuevo la muestra seca.

Cálculos.- Determine el % de humedad en la siguiente forma:

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{Peso de la muestra humedad-peso de la muestra seca}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

3.2. Determinación de Viscosidad Plástica y Punto de Cedencia

El alcance específico para el producto toma de esta norma.

Aparatos y equipo:

Viscosímetro Fann Multitrotacional, Modelo 35

Mezclador de tipo Multimixer, Modelo 9B y con una sola probela en la parte inferior del tipo 9B - 29.

Vaso metálico apropiado para el mezclador.

Balanza granataria

Un cronómetro

Un medidor de tiempo de intervalos con alarma

Un frasco de vidrio con boca ancha de capacidad mínima de un litro.

"Preparación del espécimen"

Se pesan 32 gramos de la muestra de bentonita. Se agrega la bentonita lentamente a 500 ml. de agua destilada, mientras se está agitando en el mezclador. Una vez terminada la adición se continúa agitando durante 20 minutos. Transfiera la suspensión de la bentonita al frasco y déjela en reposo 16 horas como mínimo y 24 como máximo*. Hágase la preparación de la mezcla a la temperatura ambiente. Cuando se esté mezclando la bentonita, observe que no quede ningún grumo en el vaso o adherido al eje del agitador.

De la suspensión coloidal tómese 500 ml. y agítese durante 5 minutos empleando el mismo mezclador.

Inmediatamente pase la suspensión al vaso del viscosímetro Fann y proceda a tomar la lectura a 600 r.p.m. y la lectura a 300 r.p.m. Estas lecturas deberán ser hechas al minuto exacto de iniciar la agitación a 600 r.p.m. y 300 r.p.m. respectivamente.

Cálculos.- Se procede de la siguiente manera para determinar la viscosidad plástica. A la lectura de 600 r.p.m. réstele la lectura a 300 r.p.m., y esta cantidad repórtela como viscosidad plástica. Para la determinación de punto de cedencia, réstese a la lectura de 300 r.p.m. el valor de la viscosidad plástica anteriormente obtenida.

3.3. Determinación del Filtrado

Alcance.- El alcance específico para el producto tema de esta Norma.

Aparatos y Equipos.- Filtro Prensa de baja presión, marca Baroid o Fann.

Probeta graduada de 25 ml.

Un medidor de tiempo de intervalos con alarma.

Papel filtro. Whatman N^o 50 de 9 cm. de diámetro.

"Preparación del Especimen"

Igual al anterior hasta el paso (*). Luego se pasa inmediatamente la suspensión a la celda del filtro prensa, colóque-

la en la armadura y aplique (100 lb/m^2) o 7 Kg/cm^2 de presión, recogiendo el filtrado en la probeta. Se mantiene - dicha presión durante 30 minutos \pm 1 minuto y se lee los ml. recogidos.

Cálculo.- El valor del filtrado será el número de ml. de líquido recogido en la probeta.

3.4. Granulometría

Alcance.- El alcance específico para el producto tema de esta Norma.

Aparatos y Equipos: Balanza analítica
 Agitador Multimixer
 Cedazo certificado de malla N° 200 según designación ASTM-E-11, equivalente a abertura nominal de 0.074 mm.
 Frasco de boca ancha.
 Vaso de precipitado de 600 ml.
 Estufa
 Desecador

"Preparación del Especimen"

Se pesa aproximadamente $10 \text{ g} \pm 0.001 \text{ g}$. de Bentonita previamente secada a peso constante. Se transfiere la muestra al vaso de precipitado, se agrega 350 ml. de agua, 0.2 g. de pirofosfato tetrasodico anhidro, se agita en el agitador - multimixer durante 20 minutos. Se deja en reposo dos horas como mínimo. Se agita 5 minutos y se vacía la suspensión a través del cedazo. Se lava el residuo con agua corriente. Se

transfiere el residuo a un vidrio de reloj tarado. Se seca el residuo a 110°C durante una hora, se deja enfriar en desecador y se pesa con aproximación de ± 0.01 g.

Cálculos.- El porcentaje de residuo en la Malla N^o 200 se calcula en la siguiente forma:

$$\text{Porcentaje de residuo} = \frac{\text{Peso del residuo}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100^{(16)}$$

Dos propiedades de importancia que no han sido mencionadas son:

Esfuerzo de gelatinización.- Esta medición se hace en el Stomax, después que la muestra sea agitada durante 15 minutos. El esfuerzo inicial no debe ser superior a 5 gramos y el final, después de 10 minutos no debe ser mayor de 40 gramos.

Velocidad de Hidratación.- Después de permanecer inmóvil durante 24 horas, la muestra es agitada a altas velocidades durante 5 minutos y se le toma la viscosidad, la cual no debe ser mayor del 25% de la viscosidad inicial.

Cada vez que se prepara un espécimen, se lo hace de la siguiente manera:

Se mide la cantidad de agua para preparar el volumen deseado. Se pesa la cantidad de arcilla con el porcentaje que se desea preparar la muestra, ésta se va agregan-

do poco a poco en el mezclador y luego de que se ha terminado de agregar se deja agitando por un tiempo de 20 minutos.

Los aditivos se pesan (si es que se va agregar al fluido) y se lo va añadiendo poco a poco, se deja agitar durante 20 minutos. Este paso se repite cada vez que se va a agregar cualquier clase de aditivo al lodo. En estas condiciones el barro está listo para ser sometido a las diferentes pruebas y ensayos de laboratorio que se le desee hacer. Debemos tomar en cuenta de que el campo un barril de agua pesa 350 lb., 350 ml. de agua pesan 350 gramos y es una muestra satisfactoria de lodo de perforación. Luego en todo trabajo de laboratorio y prueba piloto de campo, una muestra de 350 ml. es usada para representar equivalentemente a un barril. Si nosotros añadimos gramos de cualquier cosa a 350 ml. de muestra en trabajo de laboratorio o piloto, la relación es la misma como si nosotros añadieramos libras por barril en el campo.

2.- DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION

La determinación de las propiedades de los fluidos de perforación expuestas a continuación fueron hechas en el laboratorio de fluidos de perforación de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

- a. Densidad.- Esta propiedad fue determinada en la balanza de Lodos Baroid y es expresada en lb/galon. Las tablas (I, VIII, X, XI, XIII, XVI, XVII, XIX, XX) muestran los datos obtenidos, al variar la concentración de arcilla. Estos datos son graficados y vemos que a medida que aumenta la concentración, aumenta el valor de la densidad.
- b. Viscosidad.- Esta es la cualidad que afecta el arrastre de los ripios desde el fondo a la superficie. Se la determinó en el viscosímetro Fann, y en el Rehómetro Baroid. - Son datos que se obtuvieron y fueron expresados en centipoises. El incremento de viscosidad con el aumento de porcentaje de bentonita era bajo, dependiendo de la calidad de la bentonita. Estos valores se muestran en las tablas I, VIII, X, XI, XIII, XVI, XVII, XIX, XX.
- c. Gelatinosidad.- El lodo compuesto de agua y arcilla, cuando se deja en reposo tiende a formar Gel, y esta aumentó a medida que pasó el tiempo y vemos que los valores eran mayores en el Gel tomada a 10 minutos que en él tomado a 10 segundos. Estas lecturas son llamadas Gel final y Gel inicial respectivamente.

El equipo usado para determinar esta propiedad fue el viscosímetro Fann y la unidad en que se expresó fue lb/100 - pies². En muchas muestras los valores de viscosidad fueron del orden de 0.2 hasta 2.0.

d. Filtrado.- Es la cantidad de líquido que se obtenía al someter a prueba en el filtro prensa a un lodo base agua (en nuestro caso). En muchos lodos la pérdida de filtrado era muy grande y se separa por completo la parte líquida de la sólida.

Esto se mide en cm^3 de filtrado que se extrae de la muestra en 30 minutos con una presión de 100 psi en el caso del filtro prensa API cuando se usa el filtro prensa APAT (alta presión y alta temperatura) el valor de la presión usada fue de 500 psi y la temperatura igual a 210°F .

e. Enjarre.- Esta propiedad está asociada con la anterior y depende de la concentración de Sólidos presente en el fluído de perforación. Los datos se muestran en las tablas I, VIII, X, XI, XIII, XVI, XVII, XIX, XX y están dados en $1/32''$.

f. Contenido de Arena.

g. Contenido de Sólidos y líquidos.

h. Potencial de Hidrógeno.- Todas estas propiedades fueron determinadas con la finalidad de saber el comportamiento del lodo. El contenido de arena fue medido en el cedazo y reportado en $1/8$ en porcentaje.

El contenido de Sólidos y líquidos en la Retorta Baroid y los valores obtenidos están dados en cm^3 . El pH fue medido en el pHmetro Baroid.

Todos estos datos son tabulados en las tablas I, VIII, X, XI, XIII, XVI, XVII, XIX, XX.

RENDIMIENTO DE LAS ARCILLAS EN AGUA DULCE

El rendimiento de las arcillas se define como el número de barriles de lodo de 15 centipoise, que puede obtenerse de una tonelada de material seco.

La cantidad de fracción sólida que puede añadirse a la fracción líquida de un lodo manteniéndose aún bombeable, depende de la habilidad del material para absorber el agua y del tamaño de la partícula del material. Si el material añadido es bentonita, el 8 o 9% en peso de sólidos será el máximo que pueda tolerarse sin tratamiento químico; el peso de la suspensión será de 8.8 lb/gal. Tal material se dice que tiene muy bajo rendimiento.

Si el contenido coloidal del material es bajo, el rendimiento será bajo y de 25 a 50% de los sólidos pueden tolerarse con el correspondiente aumento en peso de 9-8 a 12 lb/gal. Se escoge 15 cps como valor crítico debido a que los Sólidos suspendidos tienen poco efecto en la viscosidad antes de ese punto.

Después de alcanzar ese punto, pocos sólidos adicionales

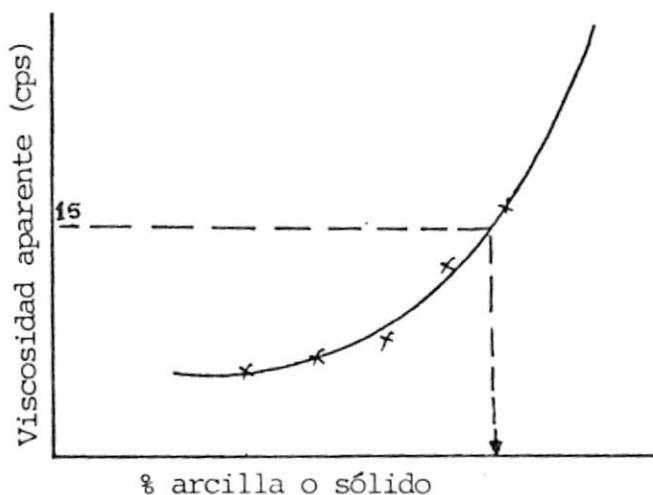
les proporcionan un aumento tremendo en la viscosidad. Este fenómeno también se presenta en los Sólidos arcillosos naturales y lutitas encontradas en la perforación.

La forma característica de todas las curvas, demuestra la importancia de controlar cuidadosamente la concentración de sólidos en el lodo.

Los cálculos del rendimiento de las diversas arcillas estudiadas están mostrados en la tabla XXII.

En la práctica para determinar el rendimiento se procede de la siguiente manera:

- a) Se prepara varias muestras de fluido de perforación a base de agua y bentonita, variando la concentración de la misma.
- b) Luego se determina la densidad aparente de cada muestra.
- c) Se construye un gráfico con los resultados obtenidos contra porcentaje en peso de bentonita.



- d) De este gráfico se determina que porcentaje en peso de bentonita se requiere para que la viscosidad aparente del fluido sea 15 cps.
- e) Luego calculo el rendimiento de la arcilla por medio de la siguiente fórmula:

$$Y = \frac{572}{X} - 3.42 =$$

Donde:

Y: rendimiento en bls/Ton.

X: porcentaje en peso de arcilla

VII. DISCUSION DE RESULTADOS

Realicé un análisis completo de las propiedades de la bentonita magcogel, y le determiné su viscosidad aparente, viscosidad plástica, gel, filtrado, contenido de arena, pH, contenido de Sólidos y líquidos. Este estudio se lo hizo con la finalidad de obtener una base o guía para luego compararla con las demás arcillas en prueba. Además se le agregó diferentes aditivos para ver su comportamiento frente a estos materiales.

La preparación de los barros se lo hizo con agua impura conteniendo minerales, la cual afecta las propiedades como son el pH, contenido de arena, hidratación, etc.

De este estudio se determinó que el rendimiento del magcogel fué de aproximadamente 69 barriles por tonelada. El comportamiento de este lodo fue normal hasta el 10%. Cuando preparé el lodo con 12% de magcogel y me encontraba analizando la pérdida de filtrado observé que -en el filtro prensa APAT el gas pasaba directamente de la válvula de entrada a la de salida, atribuyendo este a la sobresaturación de bentonita en el lodo; la presión abre un agujero a través del lodo y pasa por el papel filtro hacia

la salida, por lo tanto esta prueba fué desechada por no poderse efectuar. Se realizó 2 veces la misma prueba en diferentes filtro prensa sucediendo cosa similar en ambos casos.

Al agregarle Q-Broxin en un 10%, se formó burbujas de aire dando lugar a un lodo con mucha espuma imposible de poder determinar sus propiedades.

La acción del Q-Broxin es la de disminuir el pH del lodo y de dispersar las partículas. En la preparación del lodo con la arcilla N^o 1 los datos que obtuve de viscosidad aparente fueron bajos, dando por consiguiente un rendimiento pobre, la pérdida de filtrado fue elevada alcanzando un valor de 116 cc. con la formación de un enjarre muy grueso.

Al adicionarle 6% de Bicarbonato de Sodio a este lodo se formaron dos zonas bien diferenciadas, la primera de agua que por su densidad se ubicó en la parte superior y la segunda fue de sólidos que se asentaron en el fondo del portamuestra, esto ocurrió cuando se dejó de agitar el lodo en estudio.

Este barro tuvo una pérdida de filtrado muy elevada, ya que apenas fue colocado en la celda del filtro prensa co-

menzó a perder agua sin necesidad de aplicarle presión. La activación de esta bentonita no tuvo éxito.

En la muestra N^o 2 la variación de la viscosidad aparente con el incremento del porcentaje de arcilla es mínimo, de similar manera el gel con respecto al tiempo. Desde el 40% de arcilla en adelante obtuve un aumento considerable en el valor de viscosidad aparente, el rendimiento fue pobre. Los gráficos 26 al 33 muestran este comportamiento. Al agregarle bicarbonato de sodio a este barro, las partículas de arcilla se distribuyeron en el agua de mejor forma; los valores de viscosidad aparente, viscosidad plástica y punto cedente aumentan considerablemente. Las partículas se mantienen en suspensión gozando de un buen efecto de tixotropía, la pérdida de fluído se reduce, el rendimiento que produce esta bentonita así activada es de 36 barriles por tonelada, es decir aumentó 23.11 Bbl/Ton., ya que en estado natural rindió solamente 12.89 Bbl/Ton. Además debemos anotar que el mejoramiento de las propiedades de este fluído se manifiesta de una manera inmediata. Esta arcilla se la clasifica como de grado A. Su comportamiento se refleja en los gráficos N^o 34 al 41.

El lodo preparado con la muestra N^o 3 en su estado natural no dió ningún resultado positivo. Cuando se activó

con bicarbonato de Sodio se observó mejoramiento de sus propiedades así tenemos: buen efecto de tixotropía, elevado valor de viscosidad aparente en relación con el obtenido en el análisis en su estado original, formación de una costra de lodo delgada y homogénea, no se pudo continuar investigando por la falta de muestra pero en general se observó que da buen resultado con la estimulación.

Analizando la muestra 4 observé que la distribución coloidial y el rendimiento eran pobres, ya que el agua que constituye el lodo se separó en solamente 3 minutos, después que el barro fue puesto en el filtro prensa, la costra formada deja unos conductos por donde fácilmente pasa toda el agua y la presión baja de 100 psi a 20.

Del estudio del lodo preparado con la muestra N^o 5 se pudo concluir que toda el agua que compone el lodo se reporta como filtrado y el enjarre que se forma es grueso alcanzando un espesor de 2.5 pulgada de espesor cuando el porcentaje de arcilla es del 40 por ciento, el contenido de sólidos es del 12 por ciento.

Esta bentonita no reacciona favorablemente con la adi

ción de bicarbonato de sodio; la distribución coloidal es pobre, los 270 cc de filtrado caen en 6 minutos, el contenido de arena fue del orden del 1%. Por su rendimiento se la puede clasificar como arcilla de bajo grado. Los gráficos 51 al 57 describen el comportamiento de este lodo.

Las muestras N^o 6 y N^o 7 no cumplen con ninguna de las normas establecidas para el uso de la bentonita. La pérdida de fluído en ambos casos es elevada, 119 cc y 200 respectivamente. En la última hay asentamiento de Sólidos en el portamuestra cuando se deja de agitar el lodo, en la preparación del lodo al 6% la costra que se forma no es uniforme, tiene muchos surcos por donde fácilmente se filtra el agua.

VIII. CONCLUSIONES

1. - Las arcillas bentoníticas objeto de esta investigación en su estado natural, no reúnen las cualidades que requieren para poder ser utilizadas en la preparación de fluidos de perforación.
2. - Estas muestras son casi exclusivamente bentonitas cálcicas, las cuales no son propicias para emplearlas en la industria del petróleo, ya que no cumplen con las especificaciones estipuladas en el manual para el uso de la bentonita, es decir, no tienen las propiedades que deben poseer las bentonitas - sodicas, anteriormente definidas.
3. - Estas bentonitas - cálcicas fueron sometidas a una activación, agregándole un cierto porcentaje en peso de Bicarbonato de Sodio, para de esta manera llevarla de Cálcica a Sódica. Los resultados obtenidos del análisis de esta bentonita activa fueron satisfactorios, ya que sus propiedades fueron mejoradas en un porcentaje bastante elevado, para una sola muestra, la número DOS.
4. - Del análisis de las curvas de viscosidad aparente, viscosidad plástica, punto cedente y gel inicial y gel final, notamos que dichas propiedades mejoran con el aumento del porcentaje de arcilla y así mismo mientras mejor es la calidad de la arcilla mejores serán las propiedades antes mencionadas.
5. - Del comportamiento de las curvas de pérdida de fluido -vs- porcentaje en peso de arcilla vemos q' h pérdida de fluido - disminuye a medida que aumenta la concentración de esta arcilla-bentonítica.

- 6.- La importancia de los gráficos y datos obtenidos en este estudio de las arcillas - bentoníticas radica principalmente en tener un conocimiento de las propiedades y condiciones en que se encuentran estas bentonitas.

Así mismo tendremos información a la mano cuando se quiera realizar un estudio posterior más avanzado de las mismas.

- 7.- Analizando el rendimiento de las bentonitas-Ecuadorianas vemos que la que nos da un mejor rendimiento es la bentonita -activada muestra número 2, la que nos proporciona a proximadamente 36 Bbls/Ton, lo cual es un valor bastante aceptable.
- 8.- Con la adición de Bicarbonato de Sodio, el potencial de hidrógeno disminuye en el lodo preparado con estas bentonitas.
- 9.- En algunas muestras de fluido de perforación, observamos que la cantidad de pérdida de fluido era enorme, atribuyendo esto a la pobre distribución coloidal de las partículas de arcilla, por lo tanto este fluido necesita un aditivo dispersante para mejorar su calidad y obtener una mejor distribución de sus partículas.
10. - Tratamos en todo momento de analizar las bentonitas Ecuadorianas con la finalidad de encontrar una que sea Sódica ya que en los fluidos de perforación, la arcilla comunmente usada es la bentonita - Sódica debido a sus magníficas propiedades y a su alto rendimiento que la hacen ideal para preparar dichos fluidos.

IX. RECOMENDACIONES

1. Extender el presente estudio analizando arcillas bentónicas Ecuatorianas de diferentes zonas del país.
2. Emplear nuevas técnicas para cambiar las bentonitas-cálcicas a Sódicas.
3. Hacer una reactivación de estas bentonitas estudiadas y analizarlas para determinar el mejoramiento de sus propiedades.
4. Comparar las propiedades y rendimiento de las arcillas - bentonitas ecuatorianas reactivadas con la bentonita importada.
5. Realizar una estimación económica del precio de un saco - de bentonita ecuatoriana, de la misma calidad de la importada y comparar sus precios.
6. Tratar de obtener financiamiento económico, para llevar a cabo programas de investigación en los laboratorios de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, ya sea a las compañías extranjeras que operan en el país o al gobierno del Ecuador.
7. Analizar los aditivos usados en la perforación de pozos de Petróleo en suelo Ecuatoriano con la finalidad de establecer el control de calidad de estos, ya que malos aditivos pueden acarrear serios problemas e incluso pueden hechar a perder el pozo.
8. Realizar las pruebas de laboratorio y usar en la preparación de los fluidos de perforación agua destilada, ya que

las normas que se establecen son sacadas o tomadas de pruebas hechas con esta agua.

9. Determinar la composición mineralógica y química de las bentonitas ecuatorianas que se estudien, para así de esta manera tener una mayor información y poderle dar el tratamiento adecuado, ya sea para poder emplearlas en la preparación de los lodos de perforación o estimar el mejor uso conveniente que se le pueda dar a estas bentonitas.
10. Dedicarse a la investigación para tratar de encontrar aditivos que reemplacen a los importados, ya que nuestro país cuenta con materia prima, contribuyendo de esta forma a la economía del país y por ende al engrandecimiento de éste.
11. Tratar de fomentar la investigación del estudiante Politécnico, dándole facilidades de toda índole, equipando los laboratorios con todo lo necesario para realizar esta clase de trabajos, en fin dedicarle mayor importancia a los Laboratorios ya que de ellos se obtiene la tecnología que mueve al mundo.

X.

T A B L A S

G R A F I C O S

R E F E R E N C I A

TABLA I
LODO BASE AGUA

*	ρ (Lb/Gal)	L ₆₀₀	L ₃₀₀	Va	Vp	Yp	Gi	G ₁₀	filtrado API (cc)	Enjarre (1/32")	filtrado APAT	pH Lodo	pH Filtr.	Cont.Arena	Cont.Sól. (%)	C. Lfj. (%)
2	8.38	2.5	1.5	1.25	1.00	0.5	0.2	0.5	41.4	1.0/32	29.4	8.25	8.25	0.0	0.0	100
5	8.50	8.5	5.0	4.25	3.5	1.5	3.0	6.0	20.6	1.5/32	25.0	8.25	8.25	1/8	0.25	99.75
6	8.55	11.0	7.0	5.5	4.0	3.0	3.0	9.0	18.2	1.8/32	18.3	8.25	8.25	2/8	0.5	99.5
7	8.60	20.0	13.5	10.0	6.5	7.0	8.5	16.5	16.0	2.5/32	17.0	8.25	8.25	2/8	0.5	99.5
8	8.65	27.0	19.5	13.5	7.5	12.0	15.0	24.0	14.0	3/32	15.4	8.25	8.25	2.2/8	0.5	99.5
10	8.70	63	47	31.5	16	31	41	53	12	3.3/32	12.0	8.25	8.25	2.5/8	1.0	99.0
12	8.78	126	93	63	33	60	67	108	11.0	4/32	-	8.15	8.25	3/8	1.5	98.5
20	8.82	(+300)	264	-	-	-	205	222	-	-	-	8.25	8.25	3.5/8	2.0	98.0

* Porcentaje de peso en arcilla

TABLA II
 LODO BASE AGUA

t	Tiempo \sqrt{t}	% de peso en arcilla						
		2	5	6	7	8	10	12
		Pérdida de filtrado a 2100 psi. (API)						
5	2.24	14.2	6.8	6.2	5.4	4.6	4.0	3.4
10	3.16	22.4	11.0	10.0	8.6	7.4	6.0	5.6
15	3.87	29.	14.0	12.2	11.0	9.6	8.0	7.6
20	4.47	34.	16.8	14.8	12.8	11.4	9.6	8.8
25	5.00	38.2	18.6	16.6	14.4	12.8	10.7	10.0
30	5.48	41.4	20.6	18.2	16.0	14.0	12.0	11.0

TABLA III
 LODO BASE AGUA

% en peso de arcilla

t	\sqrt{t}	2	5	6	7	8	10	12
		Pérdida de filtrado a 500 psi y 210 °F (APAT)						
5	2.24	12.4	10.0	6.8	6.2	5.6	5.2	-
10	3.16	18.0	14.4	10.6	9.6	8.8	7.0	-
15	3.87	21.0	17.8	13.0	12.0	11.0	8.6	-
20	4.47	24.2	20.6	15.1	14.0	12.8	9.8	-
25	5.00	27.0	22.8	16.8	15.6	14.2	11.0	-
30	5.48	29.4	25.0	18.3	17.0	15.4	12.0	-

TABLA IV
 LODO BASE AGUA
 2% de Magcogel

*	ρ (Lb/Gal)	L_{600}	L_{300}	V_a (cps)	v_p	y_p (lb/100 pie ²)	G_i	G_{10} (lb/100 pie ²)	PH Lodo
0.1	8.40	3	2	1.5	1	1.0	0.5	3.0	10.60
0.5	8.40	7	5	3.5	2	3.0	4.0	4.5	11.70
0.6	8.40	7	5	3.5	2.0	3.0	4.5	5.0	11.80
0.8	8.40	8	6	4	2	4	4.5	5.0	11.90
0.9	8.40	8	6	4	2	4	5.0	6.0	11.90
1.0	8.40	8	6	4	2	4	5.0	6.0	11.95
1.5	8.40	10	7.5	5	2.5	5	6.0	6.0	12.00
2.0	8.40	11	8.5	5.5	2.5	5.0	6.0	7.0	12.10

*Cantidad de Hidróxido de Sodio en lb/Bal

TABLA V
 LODO BASE AGUA
 6% de Magcogel

*	ρ (lb/Gal)	L_{600}	L_{300}	V_a (cps)	V_p (Cps)	Y_p (Lb/100 pie ²)	G_i	G_{10}	pH Lodo
0.2	8.54	11	7	5.5	4	3.0	4	11	10.5
0.4	8.54	19	13	9.5	6	7	19	35	10.9
0.6	8.54	26	19	13	7	12	30	50	11.10
0.8	8.54	146	139	73	7	132	60	64	11.80
1.0	8.54	133	124	66.5	9	115	62	67	11.90
1.2	8.54	175	165	87.5	10	155	72	77	12.00
1.5	8.54	155	146	77.5	9	137	68	72	12.00
2.0	8.54	155	143	77.5	12	131	68	70	12.00

* Cantidad de Hidróxido de Sodio en Lb/Bbl.

TABLA VI
 LODO BASE AGUA
 6% de Magcogel

*	ρ (lb/Gal)	L ₆₀₀	L ₃₀₀	V _a	V _p (lb/100 pie ²)	Y _D	Gi	G ₁₀	filtrado API (cc)	Enjarre (1/32")	pH lodo (%)	pH filt. (%)
2	8.56	10	5.5	5	4.5	1.0	3.0	6.0	13.6	1.4/32"	6.70	6.90
4	8.56	10.5	6.0	5.25	4.5	1.5	3.0	6.0	12.6	1.5/32	6.10	6.70
6	8.56	11.0	6.5	5.5	5.0	1.5	4.0	7.0	12.5	1.6/32	6.00	6.60

* Cantidad de Q-Broxin Lb/Bbl:-

TABLA VII

LODO BASE AGUA

Arcilla al 6%

Cantidad de Q-Broxin en lb/Bbl

Tiempo (minutos)		2	4	6
t	\sqrt{t}	Pérdida de fluido a 100 psi (API)		
5	2.24	5	4.8	4.6
10	3.16	7.6	7.2	7.0
15	3.87	9.6	8.8	8.6
20	4.47	11.2	10.0	9.8
25	5.00	12.4	11.0	11.5
30	5.48	13.6	12.0	17.5

TABLA VIII
LODO BASE AGUA

Muestra N° 1

*	ρ (lb/Gal)	L ₆₀₀	L ₃₀₀	V _a	V _p (cps)	Y _p	G _i	G ₁₀	filtrado API (cc)	Enjarre (1/32")	pH Lodo	pH Filtro	Cont. Arena (1/8 %)	Cont. Sól. (%)	Cont. líq. (%)
6	8.56	2	1.0	1.0	1.0	0.	0.2	0.4	116	3/32	7.20	7.60	0.5/8	0.0	100
20	9.16	4.0	2.0	2.0	2.0	0.0	0.2	0.4	59	6/32	6.6	7.4	15/8	8	92
40	9.95	16	10	8	6	4	0.6	12	24	5/32	6.0	7.4	2/8	9	91

* Porcentaje en peso de arcilla

TABLA IX
 LODO BASE AGUA

% en peso de arcilla

t	\sqrt{t}	Pérdida de filtrado (API)		
		6	20	40
5	2.24	38	17	7.6
10	3.16	60	30	12.4
15	3.87	81	39	16.3
20	4.47	95	48	19.2
25	5.00	104	53	21.8
25	5.48	116	59	24.

TABLA X
 LODO BASE AGUA
 MUESTRA N° 2

*	ρ (lb/Gal)	L ₆₀₀	L ₃₀₀	V _a	V _p	Y _p	G _i	G ₁₀	Filtrado API (cc)	Enjarre (1/32 pulg.)	pH Lodo	pH Filtra	Cont. Arena (1/8%)	C.Sól. (%)	C.Líq. (%)
5	8,46	2.2	1.1	1.1	1.1	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	8.50	2.4	1.2	1.2	1.2	0.0	0.2	0.4	77.0	4/32"	7.85	7.80	0.1/8	2.0	98.0
10	8.70	3.0	1.5	1.5	1.5	0.0	0.2	0.4	65.4	4.5/32"	7.45	7.40	0.1/8	2.0	98.0
15	8.95	4.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.2	0.4	36.0	5/32'	7.6	7.45	0.1/8	3.0	97.0
20	9.2	5.5	3.5	2.75	2.0	1.5	0.2	0.4	-	-	-	-	-	-	-
30	9.6	15.0	9.0	7.5	6.0	3.0	0.3	4.0	-	-	-	-	-	-	-
50	10.3	186.0	143.0	93.0	43.0	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Porcentaje en peso de arcilla

TABLA XI
 LODO BASE AGUA
 MUESTRA N° 2

*	ρ	L ₆₀₀	L ₃₀₀	Va	Vp	Yp	Gi	G ₁₀	Filtrado	pH Lodo	pH filtra	Enjarre	Cont. Arena	Cont. Sólido	Cont. Líquido
6	876	5.0	3.0	2.5	2.0	1.0	1.0	4	28.4	8.70	8.70	1.3/32	0.0	3.0	97.0
10	8.77	11.0	7.0	5.5	4.0	3.0	5.0	17.0	23.2	8.70	8.70	1.4/32	0.0	1.0	99.0
15	8.78	33.0	26.0	16.5	7.0	19.0	41.0	52.0	15	8.45	8.70	2.6/32	0.0	5.0	95.0

* Porcentaje en peso de arcilla con 5% de bicarbonato de sodio

TABLA XII
 LODO BASE AGUA

MUESTRA N° 2

*	$\sqrt{\text{tiempo}}$	2.24	3.16	3.87	4.47	5.00	5.48
6	F	10.4	15.2	19.8	23.2	25.6	28.4
10	I	7.4	12.4	15.8	18.6	21.	23.2
15	L	4.6	7.6	10.	12	13.4	15
	T						
	R						
	A						
	DO						

* Porcentaje en peso de arcilla con 5% de bicarbonato de sodio

TABLA XIII
 LODO BASE AGUA
 MUESTRA N° 3

	ρ * (lb/Gal)	L ₆₀₀	L ₃₀₀	V _a (cps)	V _p (cps)	Y _p (lb/100pie ²)	G _i (lb/100pie ²)	G ₁₀	Filtrado API (cc)	Enjarre (1/32 ")	pHLodo	pHfilt.	C.Arena (1/8 %)	C.Sól. (%)	Cont.Liq. (%)
6	8.56	2.0	1.0	1.0	1.0	0	0.2	0.3	67.	2.5/32	7.7	7.6	0.3/8	0	100
20	9.17	6	3	3	3	0	0.3	1.0	24.6	3.5/32	7.6	7.5	0.5/8	4	96
40	9.9	38	28	19	10	18	6	16	13	3.5/32	7.0	7.4	0.6/8	9	91

* Porcentaje en peso de arcilla

TABLA XIV
 LODO BASE AGUA
 MUESTRA N° 3

t	Tiempo \sqrt{t}	Porcentaje en peso de arcilla		
		6	20	40
		Pérdida de fluido (API)		
5	2.24	22	8	4.2
10	3.16	36	13	7.0
15	3.87	45.4	16.4	9.0
20	4.47	54.2	20	10.4
25	5.00	61.0	22.2	12.
30	5.48	67	24.6	13.

TABLA XV
 LODO BASE AGUA
 MUESTRA N° 4

*	ρ (Lb/Gal)	L ₆₀₀	L ₃₀₀	Va (cps)	Vp (Cps)	Yp	Gi	G ₁₀	Filtrado (cc)	API (1/32")	Enjarre	pH Lodo	pH filtrado	Cont. Arena (1/8%)	Cont. Sól. (%)	Cont. Líq. (%)
6	8.60	2.0	1.0	1	1.	0.	0.2	0.3	330	3/32		8.10	7.15	0.3/8	2.0	98

*Porcentaje en peso de arcilla

TABLA XVI
 LODO BASE AGUA
 MUESTRA N° 5

*	ρ (Lb/Gal)	L ₆₀₀	L ₃₀₀	V _a	V _p	Y _p	Gi	G ₁₀	filtrado API (cc)	Enjarre (1/32")	pH Lodo	pH Filtr.	Cont. Arena (1/8%)	Cont. Sól. (%)	Cont. LÍq. (%)
6	8.52	2	0.6	1.	1.4	-0.8	0.0	0.2	320	8/32	8.25	7.10	0.0	3.	97
20	9.16	4.0	2.0	2.00	2.0	0.0	0.2	2.0	290	16/32	7.80	7.80	2.5/8	4.	96
40	9.82	12	8	6	4	4	6	10	175	40/32	7.80	6.70	7.0/8.0	12	88

* Porcentaje de peso en arcilla

TABLA XVII
 LODO BASE AGUA
 MUESTRA N° 6

*	ρ (lb/Gal)	L_{600}	L_{300}	V_a (cps)	V_p (cps)	Y_p (lb/100 piez)	G_i	G_{10}	filtrado API (cc)	Enjarre (1/32")	pH Lodo	pH filtrado	Cont.Arena (1/8%)	Cont.Sól. (%)	Cont.Líq. (%)
6	8.60	2.5	1.5	1.25	1.0	0.5	0.2	0.4	119	3.5/32	7.7	7.8	5.0	95.0	0.0
15	9.02	3.5	2.0	1.75	1.5	0.5	0.25	0.45	55	4/32	7.7	8.10	5.0	95.0	0.5/8
30	9.53	8.5	4.5	4.25	4.00	0.5	0.4	0.60	30	5/32	6.10	8.10	6.0	94.0	0.5/8
35	9.77	13.5	7.0	6.75	6.5	0.5	0.5	1.0	21.6	5/32	6.10	7.80	8.0	92.0	0.5/8

* Porcentaje en peso de arcilla

TABLA XVIII
 LODO BASE AGUA
 MUESTRA N° 6

		Porcentaje en peso de arcilla			
Tiempo		6	15	30	35
t	\sqrt{t}	Pérdida de Fluido API (cc)			
5	224	45	19.4	9.2	6.6
10	3.16	67.6	31.0	14.6	11.0
15	3.87	84	39.	19.4	14.6
20	4.47	97	45	23.	17.2
25	5.00	108	50	27.0	19.6
30	5.48	119	55	30.0	21.6

TABLA XIX
 LODO BASE AGUA
 MUESTRA N° 7

*	ρ (lb/gal)	L ₆₀₀	L ₃₀₀	V _a (cps)	V _p (cps)	Y _p (lb/100 pie ²)	G _i	G ₂₁₀	pH Lodo	pH filtrado filt.	Enjarre (1/32")	Cont. Arena (1/8%)	Cont. Sól. (%)	Cont. Líq. (%)	
6	8.57	2.2	1.0	1.1	1.2	-0.2	0.2	0.3	7.6	7.6	200	4/32	1.0/8	0	100
10	8.80	3.0	1.3	1.5	1.7	-0.4	0.2	0.3	7.6	7.50	130	6/32	1.0/8	1	99
20	9.18	5.5	2.5	2.75	3.0	-0.5	0.3	2.0	7.6	7.45	80	8/32	1.0/8	3	97

* Porcentaje en peso de arcilla

TABLA XX
 LODO BASE AGUA
 MUESTRA N° 7 +
 BICARBONATO DE SODIO AL 6 %

*	\int (Lb/Gal)	L ₆₀₀	L ₃₀₀	Va (cps)	Vp (cps)	Yp	Gi	G ₁₀	pH	Lodo	pHfilt.	Filtrado	Enjarre (1/32")	Cont. Arena (1/8%)	Cont. Sól. (%)	Cont. Lfq. (%)
6	8.80	3.7	1.7	1.85	2.0	-0.3	0.4	1.2	8.70		8.75	114	2.5/32	0.3/8	1	99
10	9.10	4.5	2.3	2.25	2.2	0.1	0.5	1.6	8.55		8.60	108	4/32	1/8.0	6	94
20	9.41	9	5.5	4.5	3.5	2.0	5.0	9.0	8.60		8.60	63	6/32	1.5/8	10	90

* Porcentaje en peso de arcilla

TABLA XXI
 LODO BASE AGUA

Nº MUESTRAS	ρ (lb/Gal)	L ₆₀₀	L ₃₀₀	Va (cps)	Yp	Yp (lb/100 pie ²)	Gi	G ₁₀	Filtrado (cc)	Enjarre (1/32 ")	pH lodo	pH Filtrado	Cont.Arena (%)	C.Sól. (%)	C.Lfq. (%)
1	9.06	4.2	2.1	2.1	2.1	0.0	0.3	0.8	80	3.5/32	8.65	8.65	3/8	4	96
2	8.77	11	7	5.5	4.0	3.0	5.0	17.0	23.2	1.4/32	8.70	8.70	0	1.0	99.0
3	8.82	10.0	6.7	5.0	3.3	3.4	5.0	10.0	29.4	1.8/32	8.65	8.90	0/8	0	100
4	8.88	3.2	1.6	1.6	1.6	0.0	0.2	0.4	320	6/32	8.55	8.50	1/8	4	96
5	8.72	2.8	1.4	1.4	1.4	0.0	0.2	0.3	270	10/32	8.05	7.95	2/8	-	-

TABLA XXII

Material	Bbls de lodo de 15 cps. por tonelada
Bentonita	90
Meta Bentonita	60
Arcilla Balanceada o Arcilla Grado A	20 a 50
Arcilla Bajo Grado	5 a 20

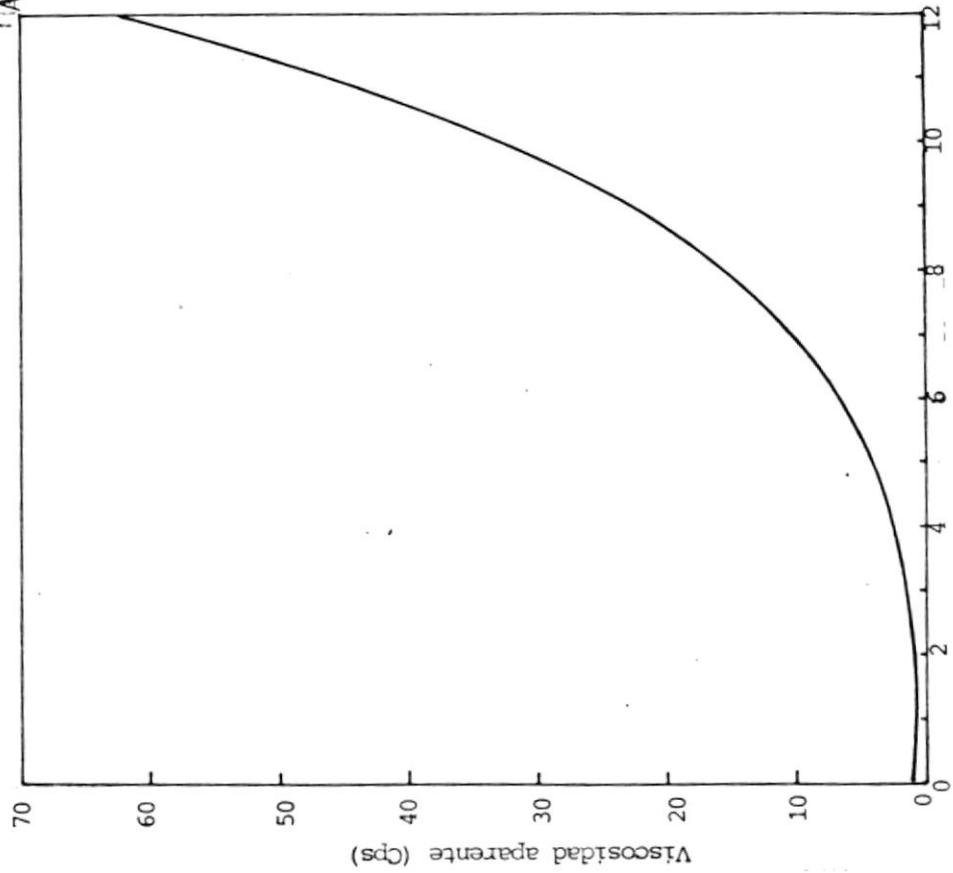
Muestras	Bbls de lodo de 15 cps por tonelada
#1	8.12
#2	12.89
#3	12.01
#4	
#5	6.87
#6	10.00
#7	8.00
Magcogel	68.90

36*

Valor obtenido con la adición de bicarbonato de sodio.

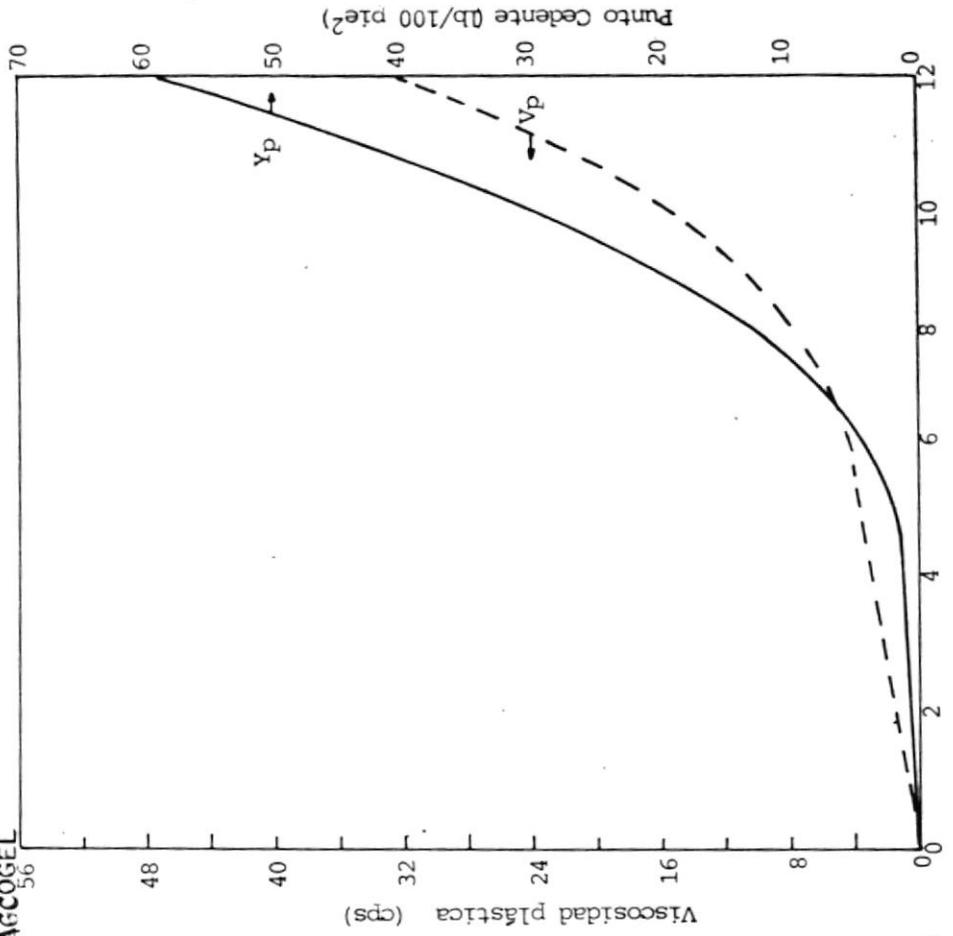
LODO BASE AGUA

MAGCOGEL⁵⁶



% en peso de arcilla

GRAFICO # 1



% en peso de arcilla

GRAFICO # 2

LODO BASE AGUA
MAGCOGEL

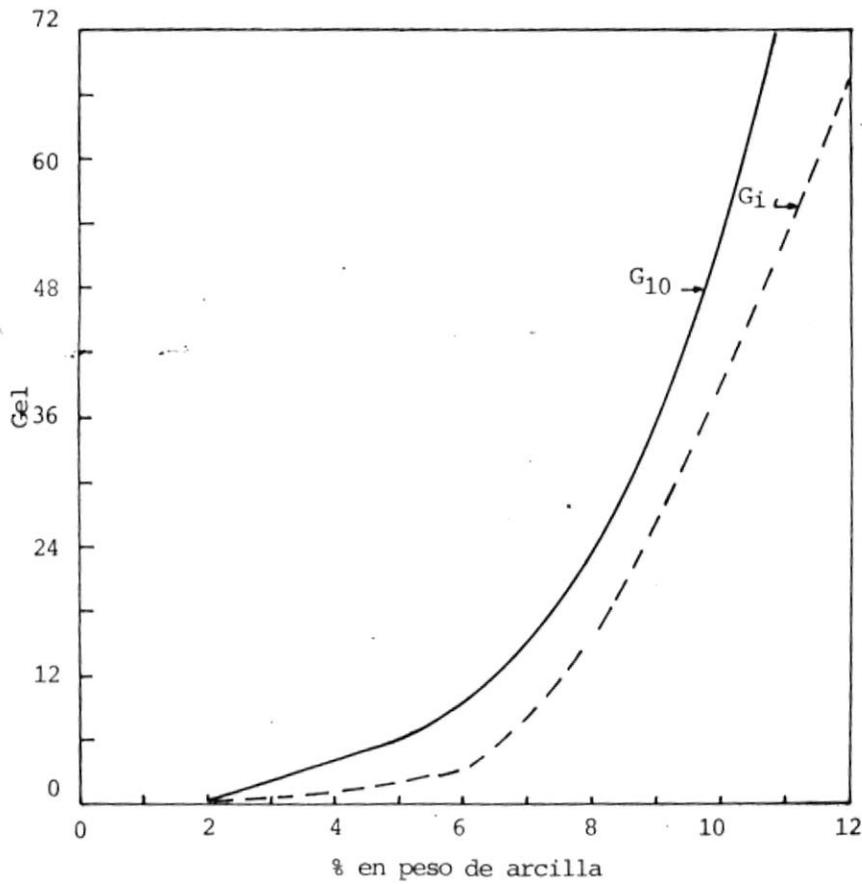


GRAFICO # 3

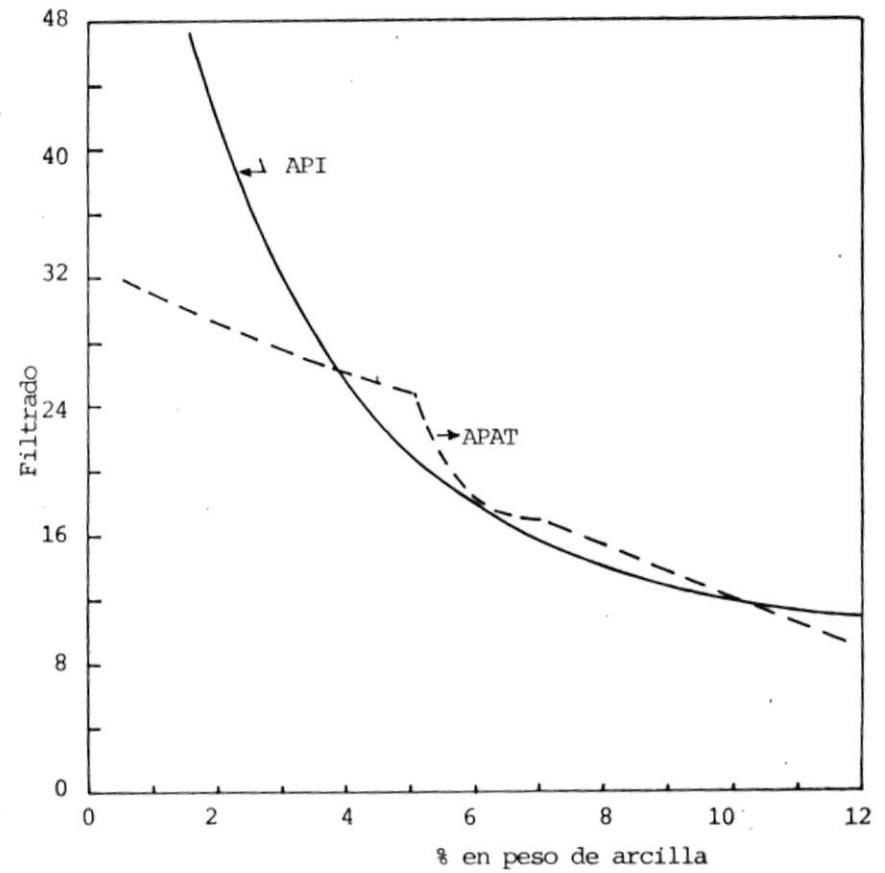


GRAFICO # 4

LODO BASE AGUA
MAGCOGEL

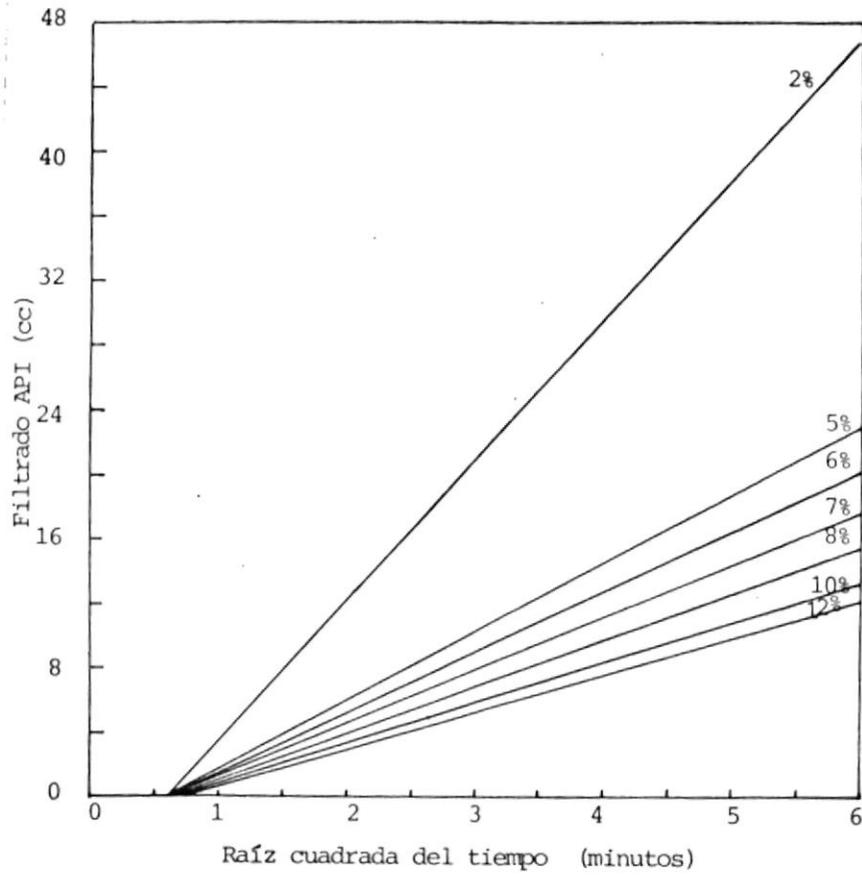


GRAFICO # 5

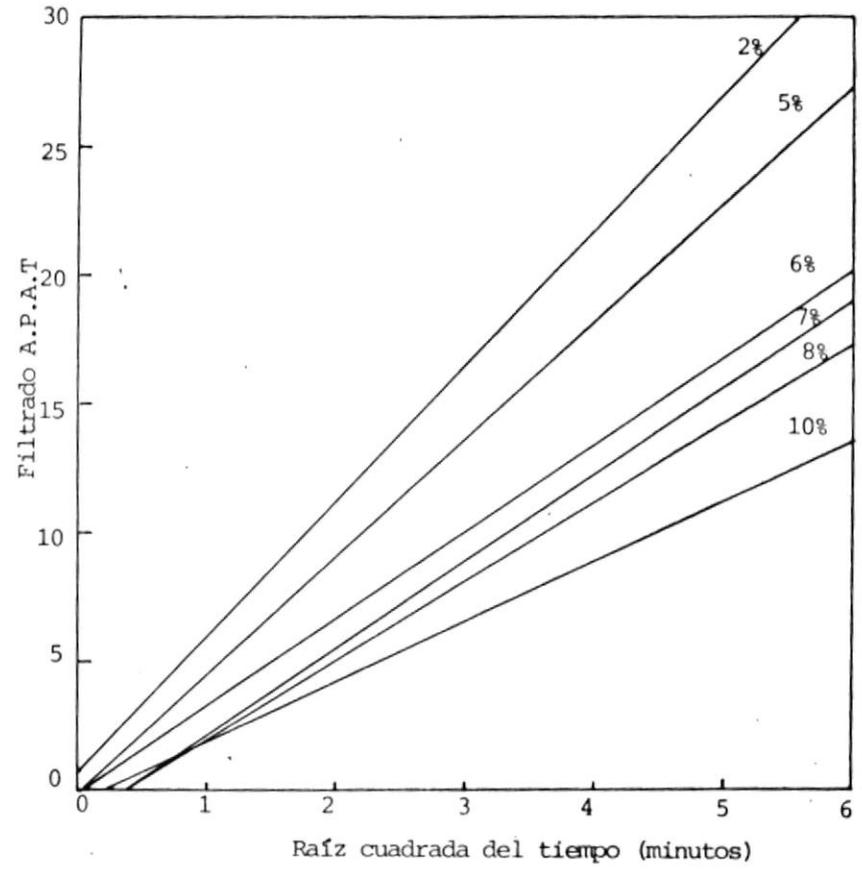


GRAFICO # 6

LODO BASE AGUA

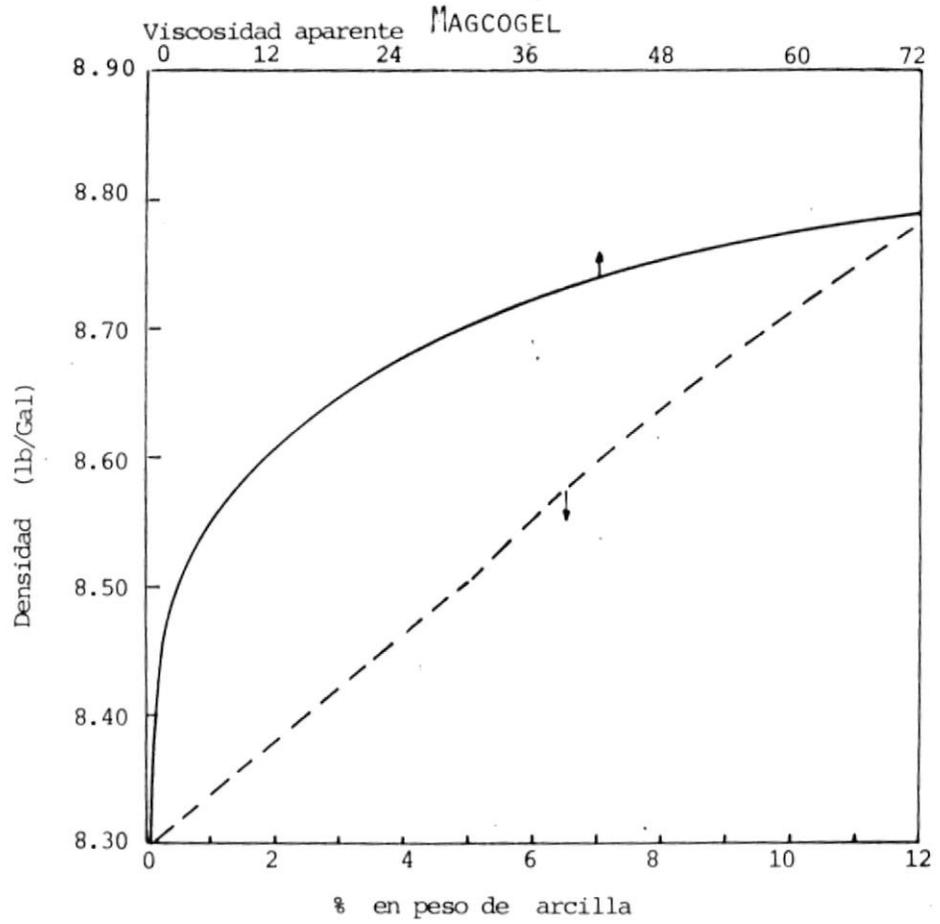
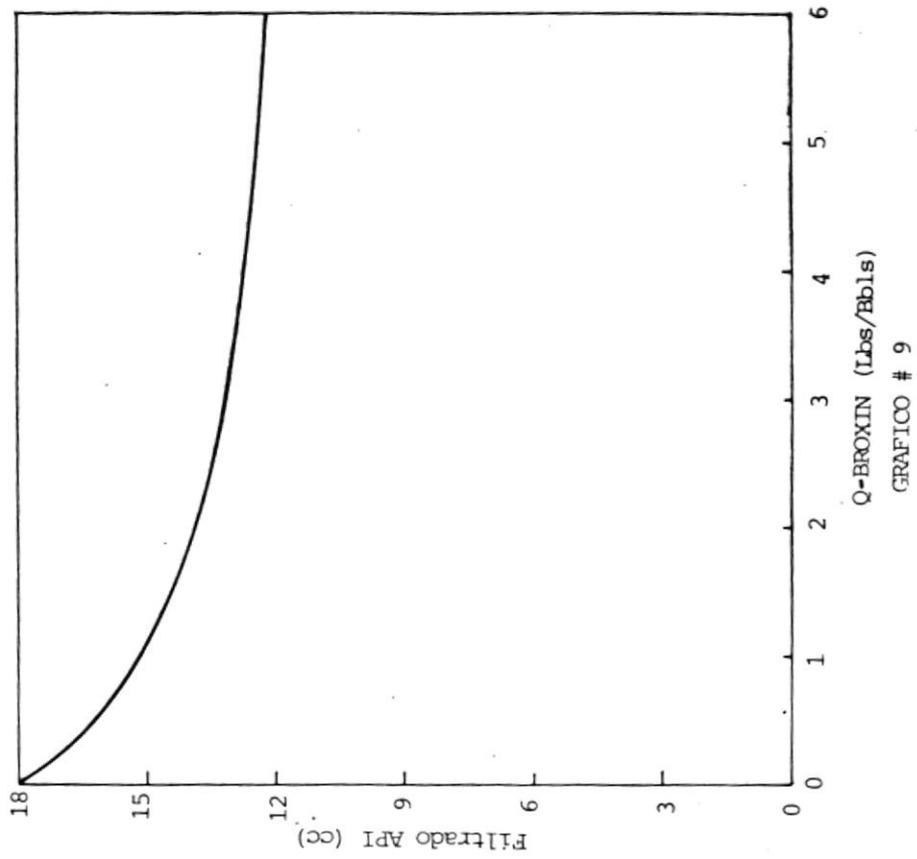
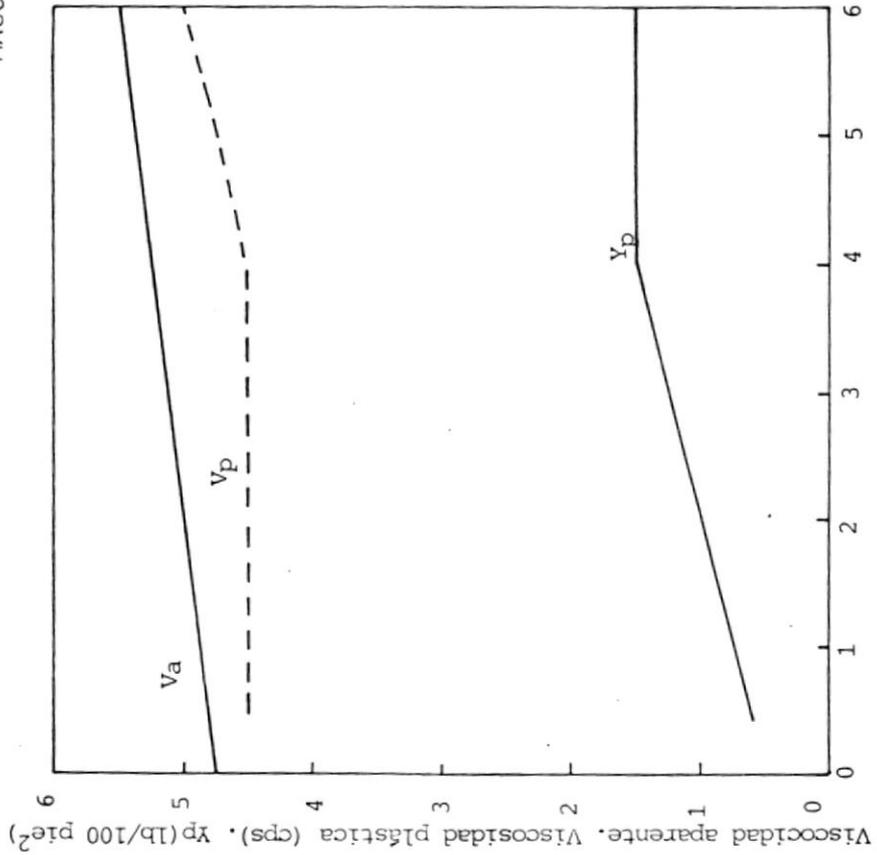


GRAFICO # 7

LODO BASE AGUA
MAGCOGEL



LODO BASE AGUA

MAGCOGEL

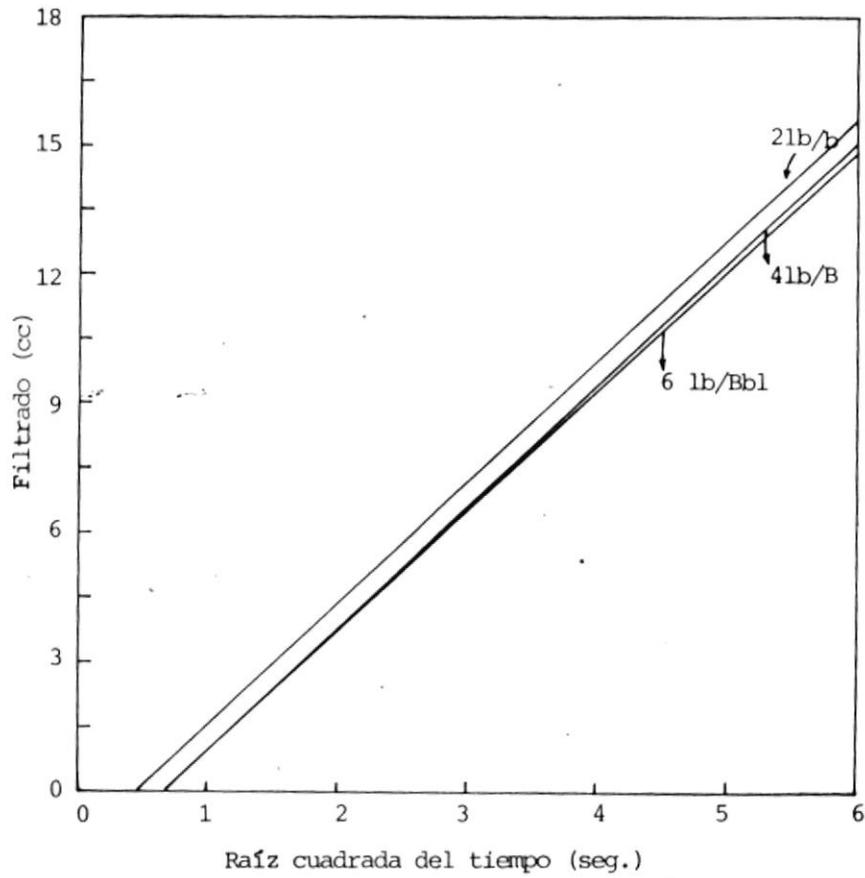


GRAFICO # 10

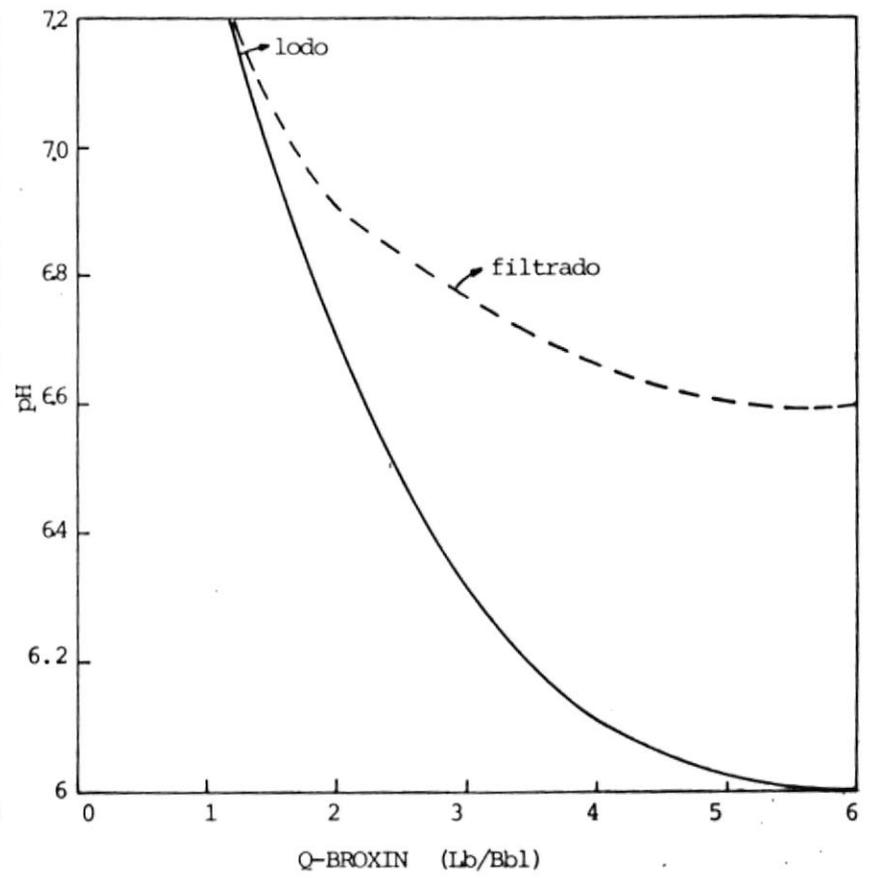
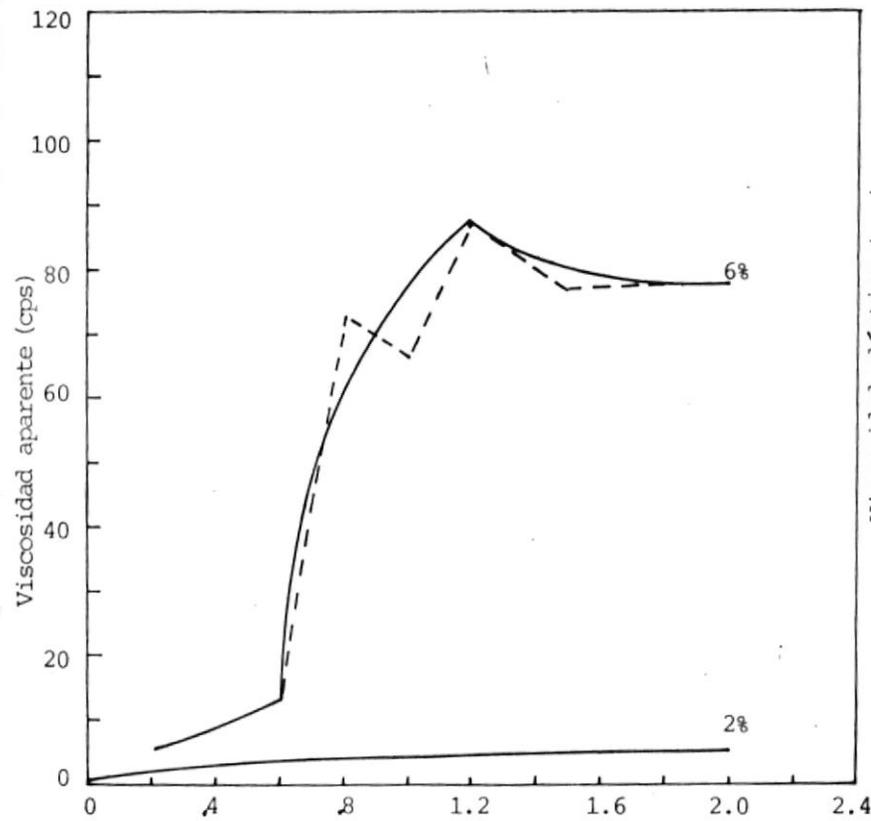


GRAFICO # 11

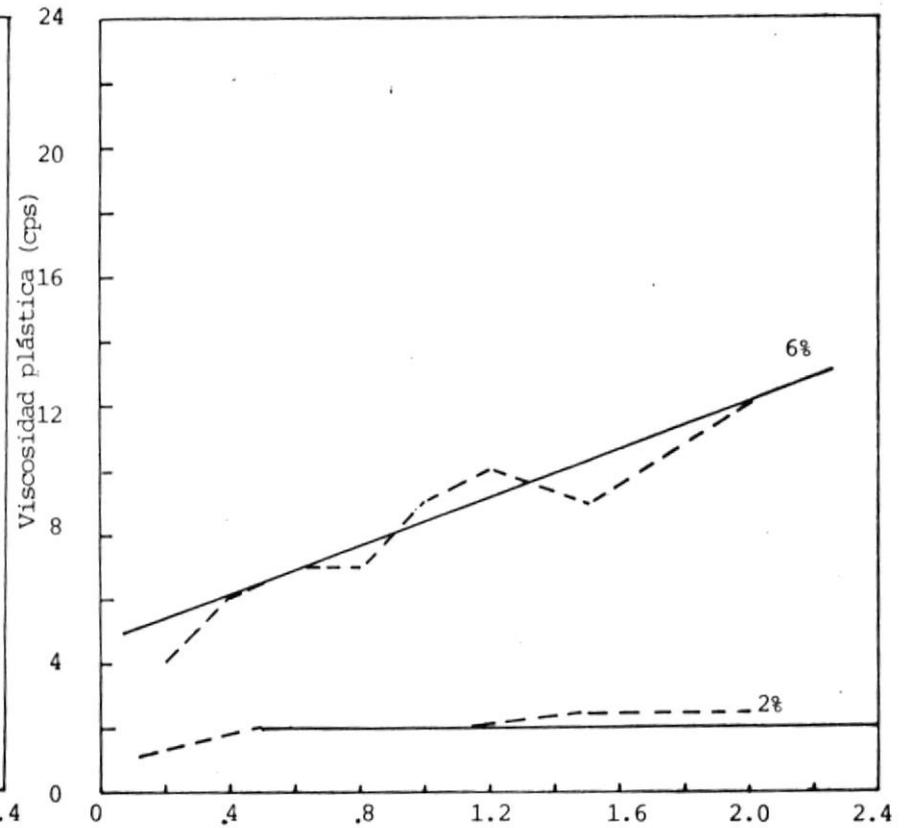
LODO BASE AGUA

MAGCOGEL



HIDROXIDO DE SODIO (Lb/Bbl)

GRAFICO # 12



HIDROXIDO DE SODIO (Lb/Bbl)

GRAFICO # 13

LODO BASE AGUA

MAGCOGEL

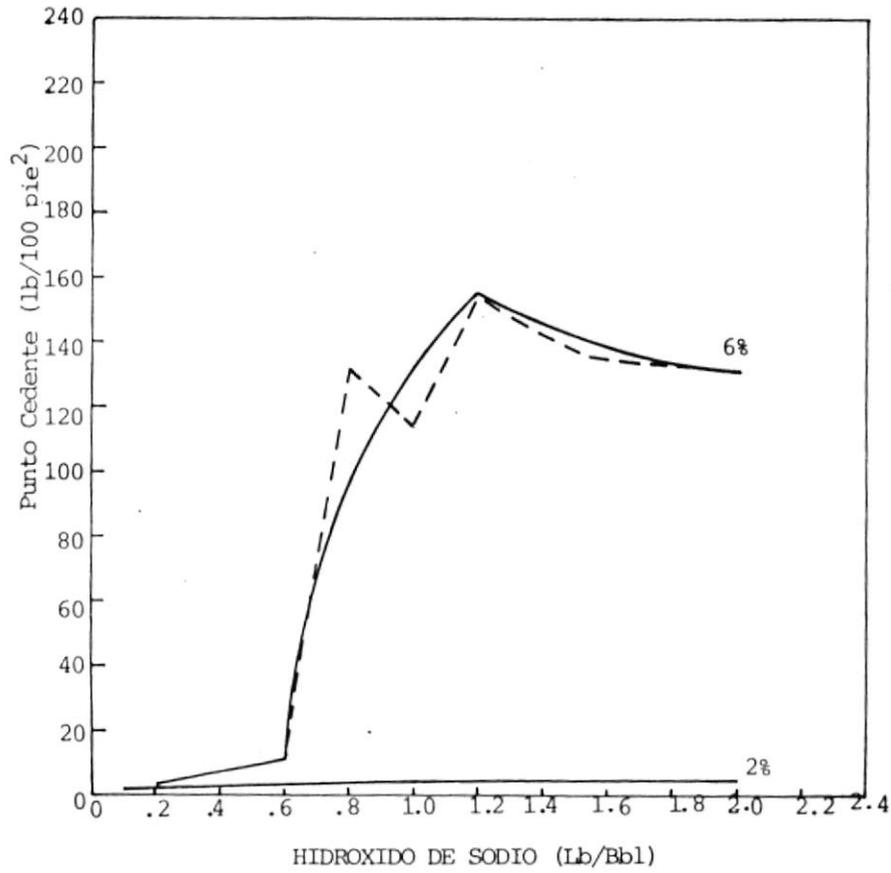


GRAFICO # 14

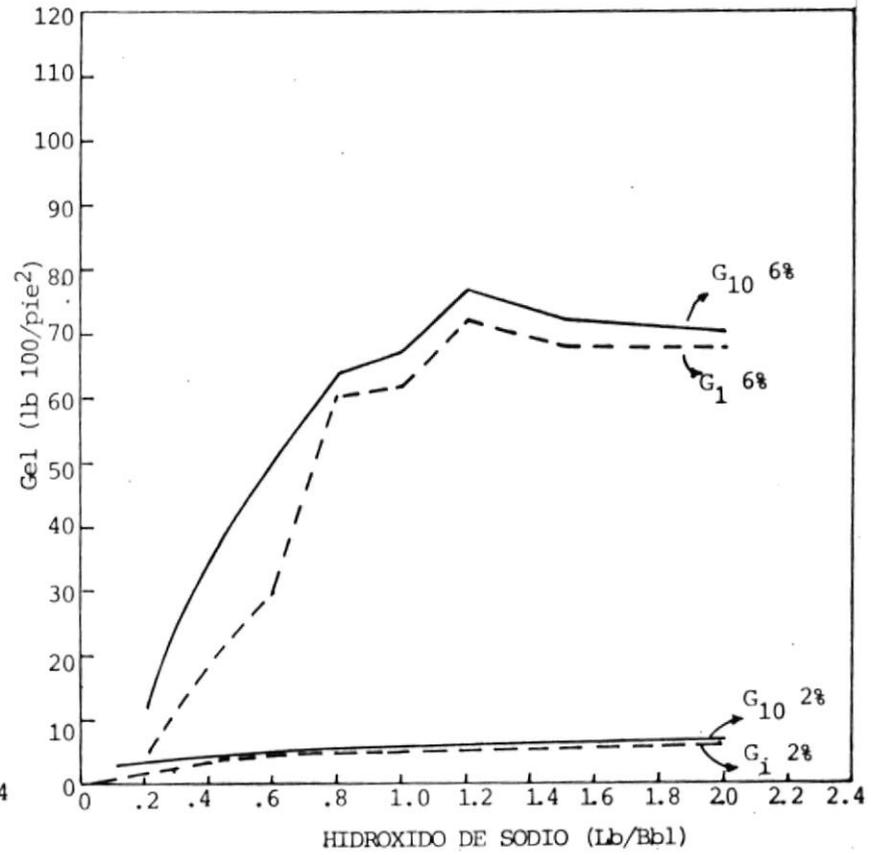
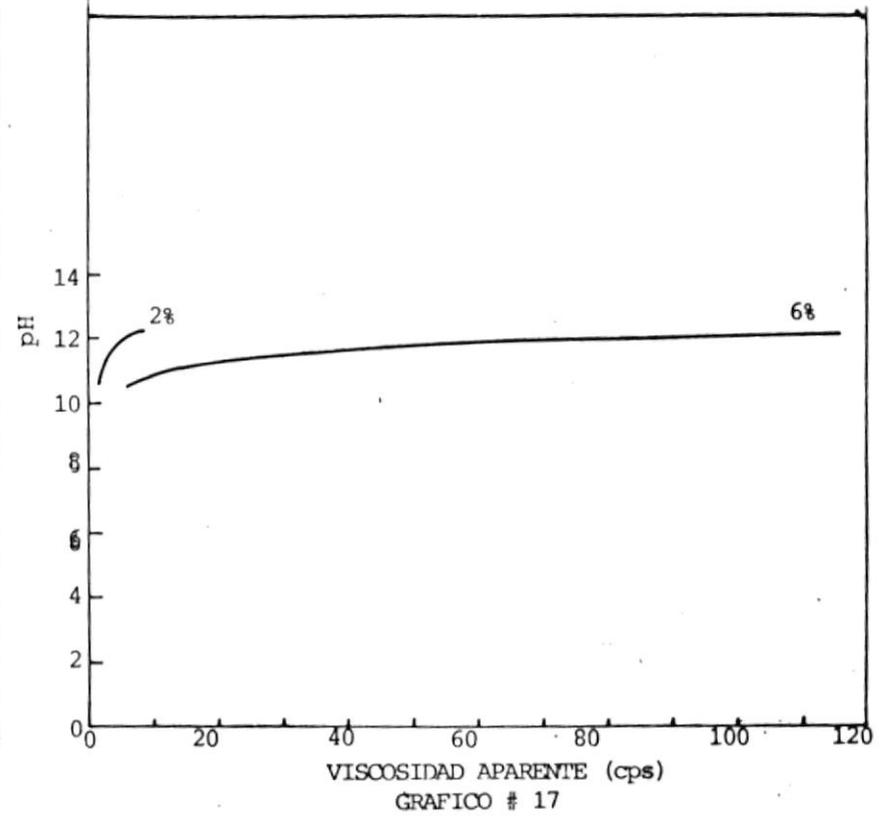
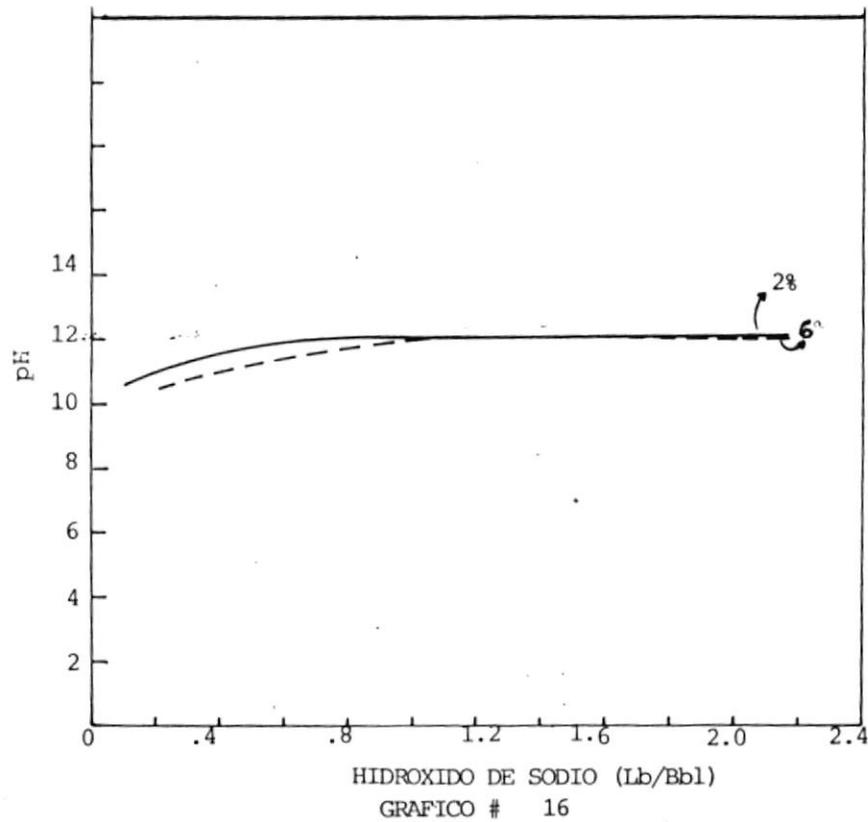
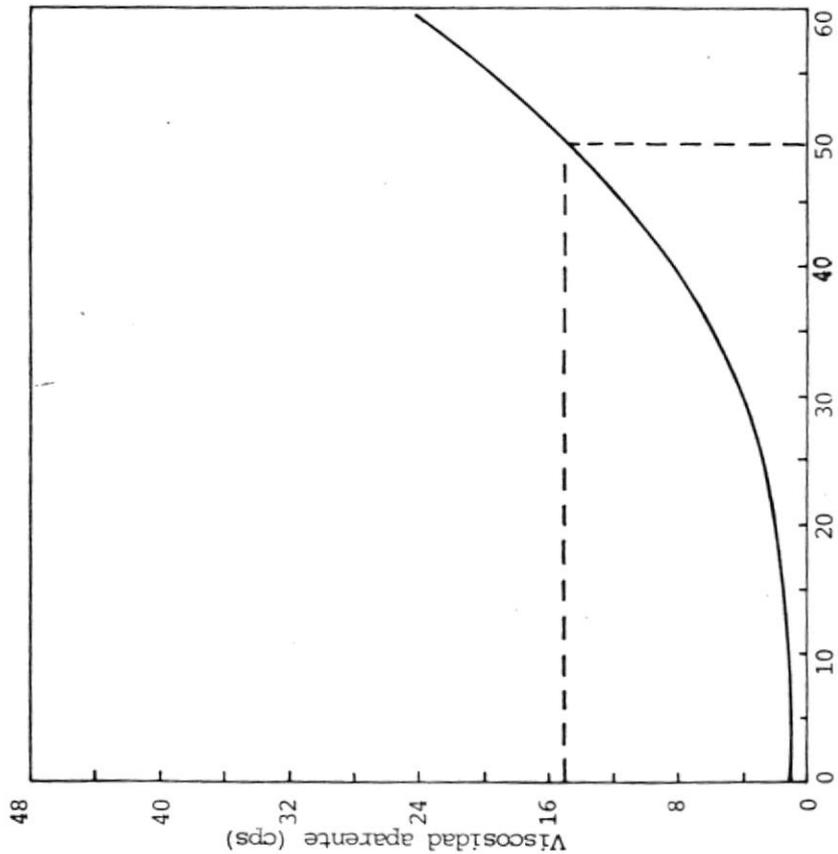
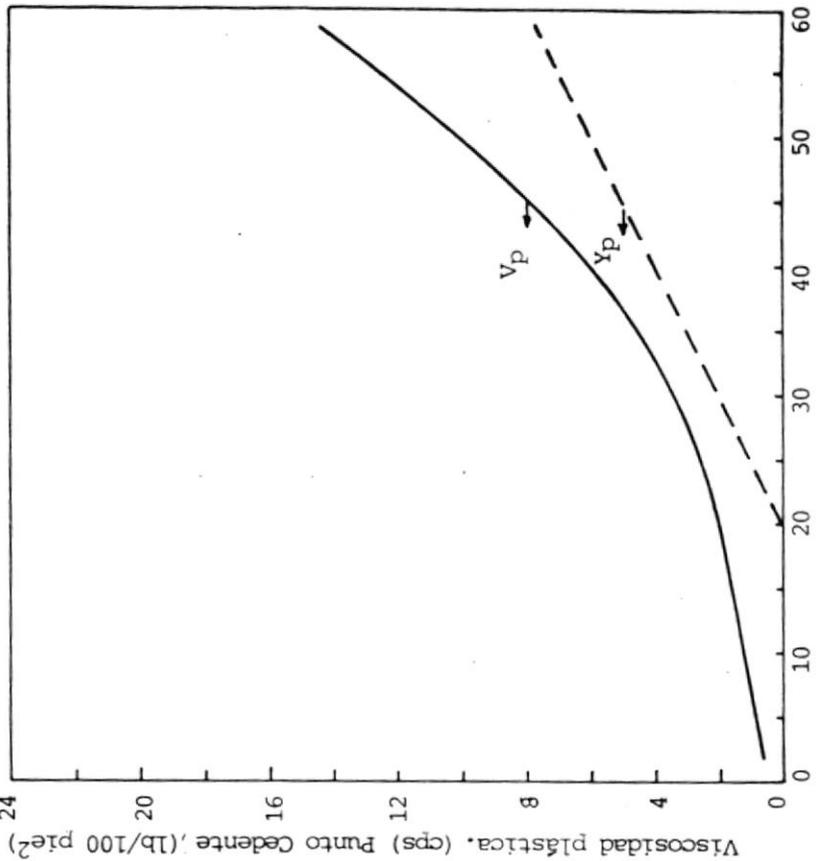


GRAFICO # 15

LODO BASE AGUA
MAGCOGEL



LODO BASE AGUA
MUESTRA N° 1



LODO BASE AGUA

MUESTRA N° 1

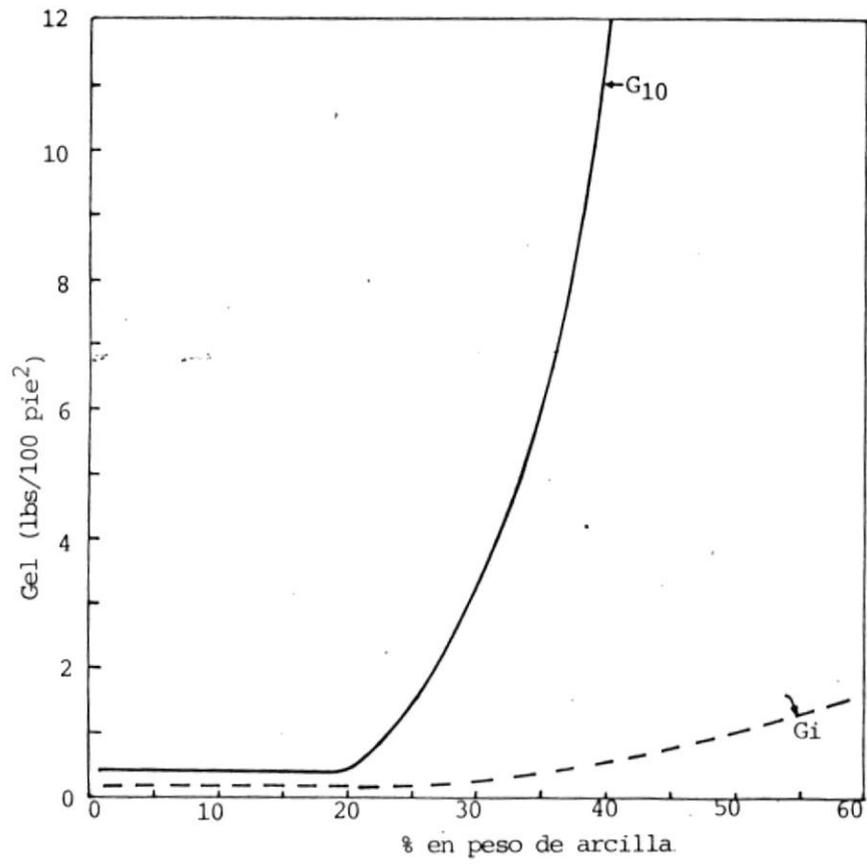


GRAFICO # 20

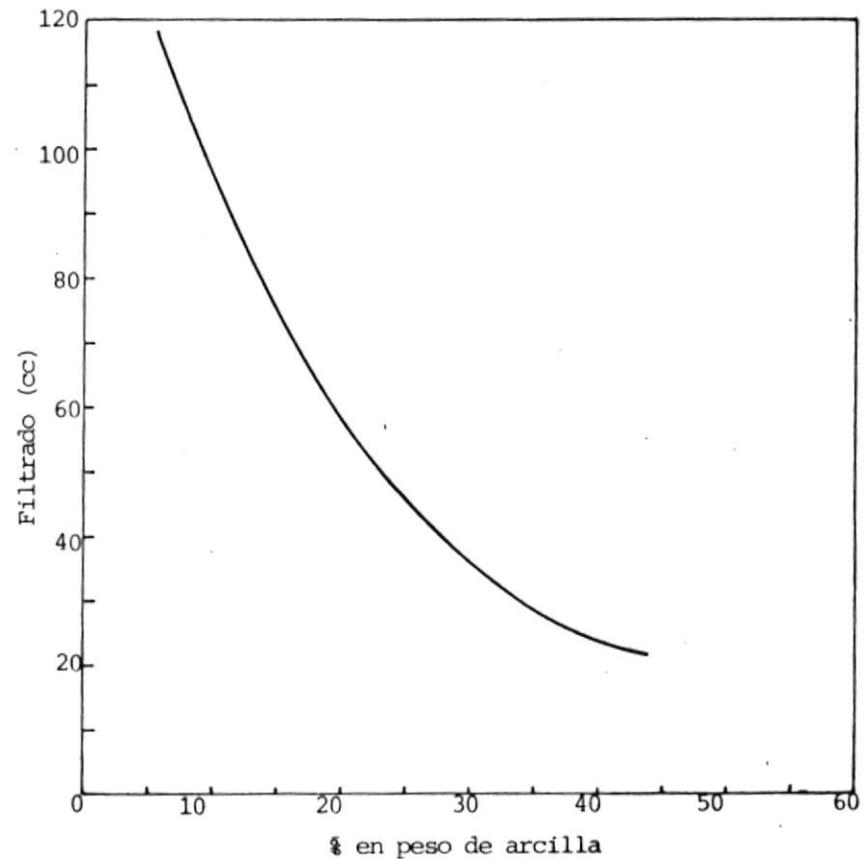


GRAFICO # 21

LODO BASE AGUA
MUESTRA N° 1

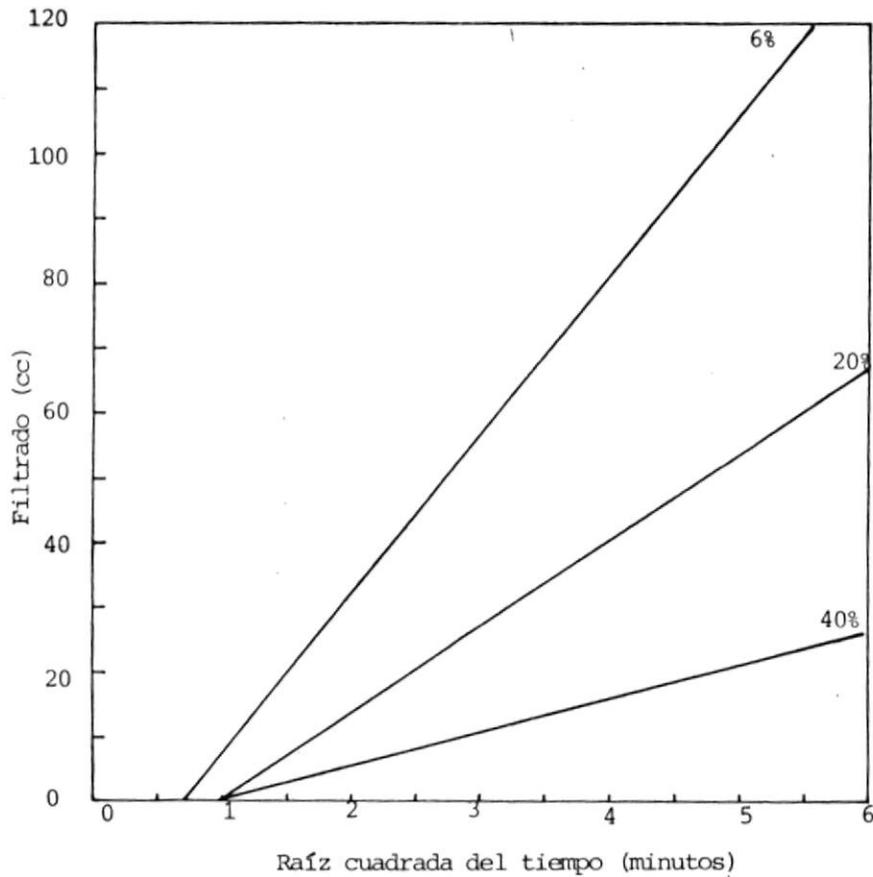


GRAFICO # 22

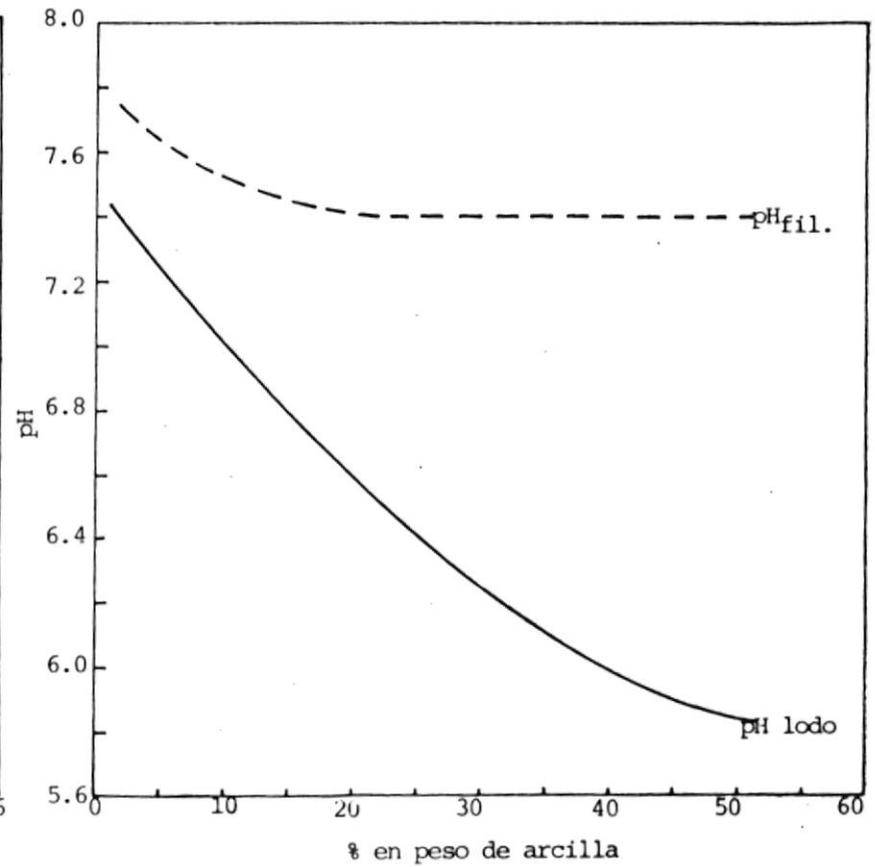


GRAFICO # 23

LODO BASE AGUA
MUESTRA N° 1

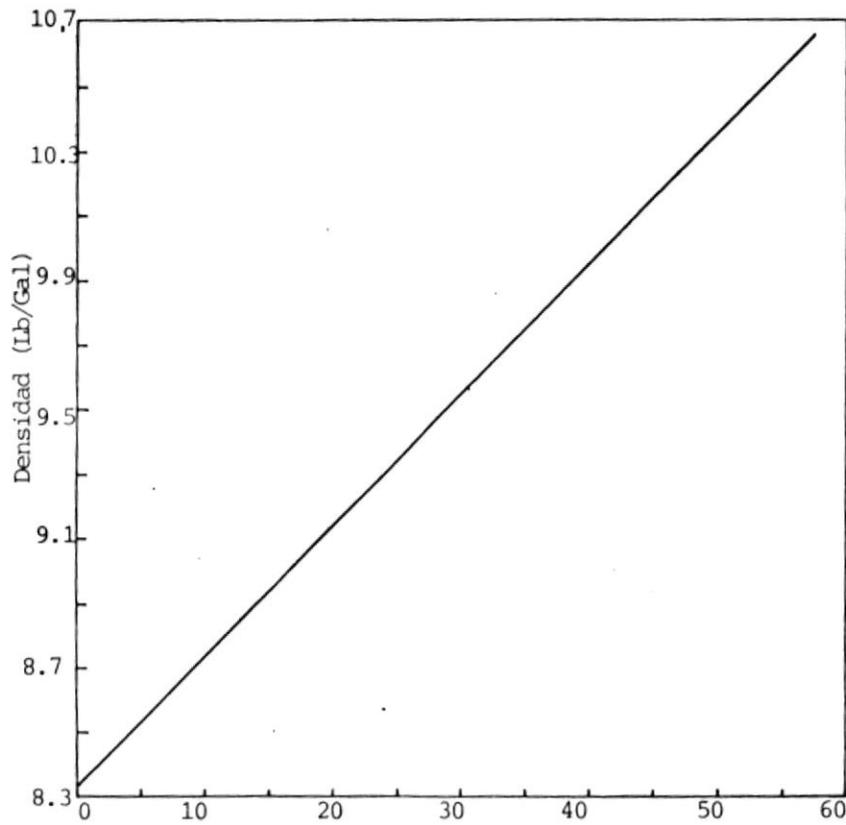


GRAFICO # 24

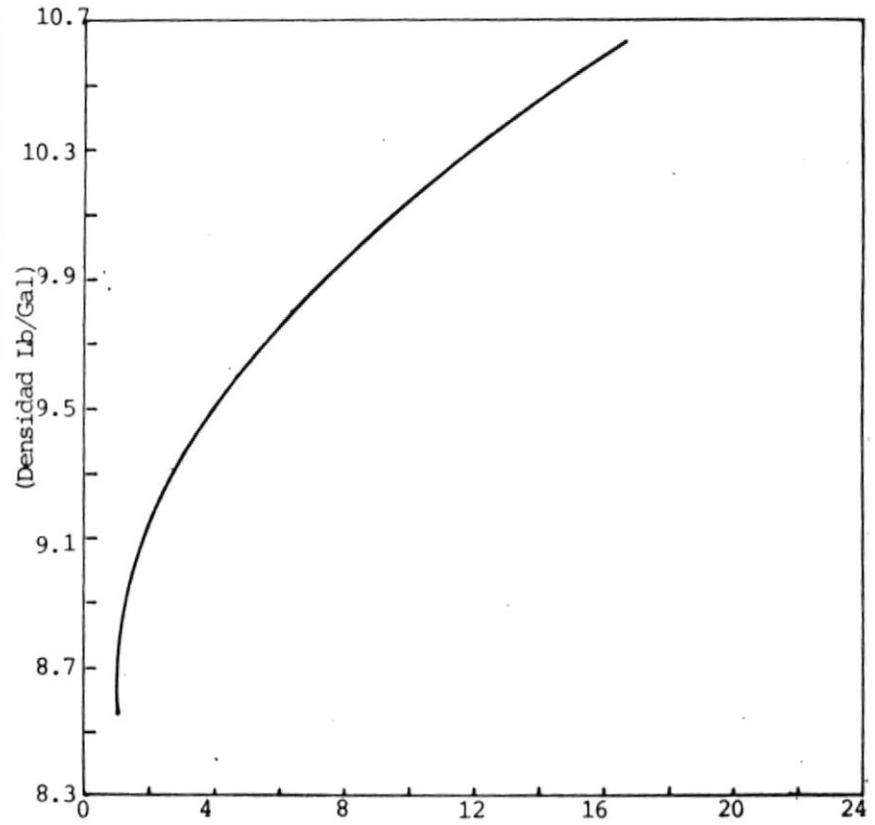
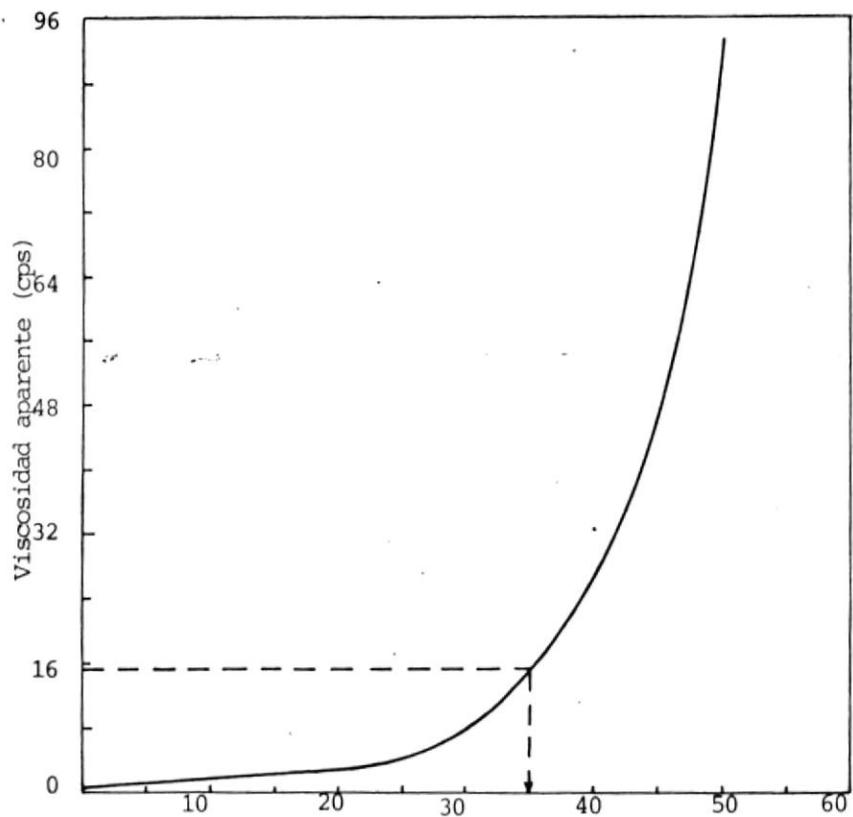


GRAFICO # 25

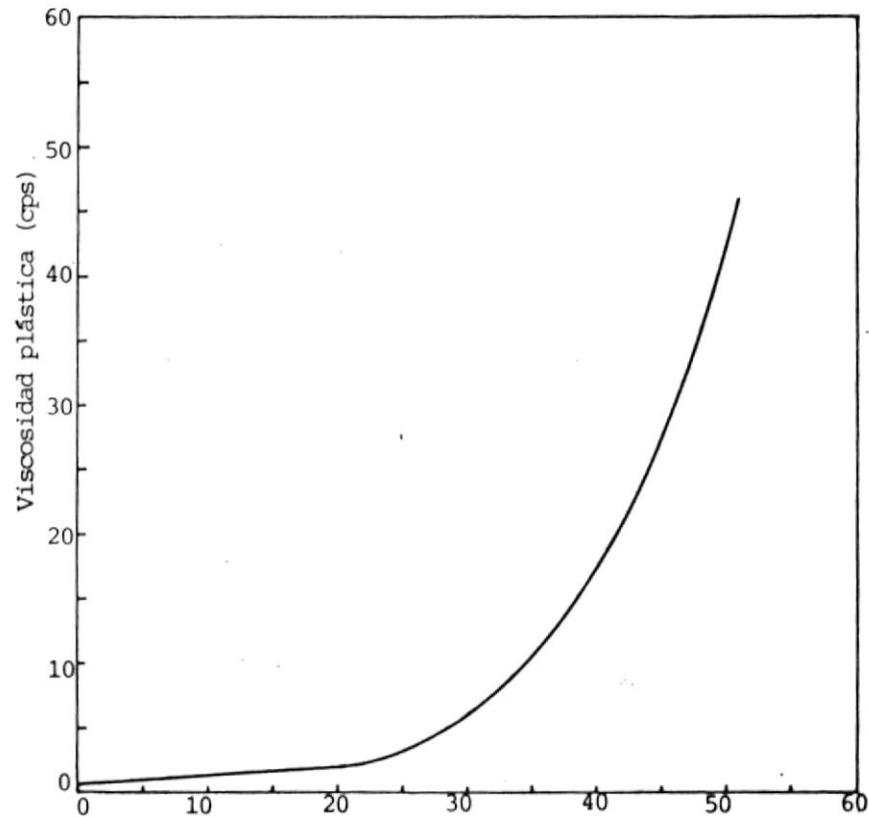
LODO BASE AGUA

MUESTRA N° 2



% de arcilla en peso

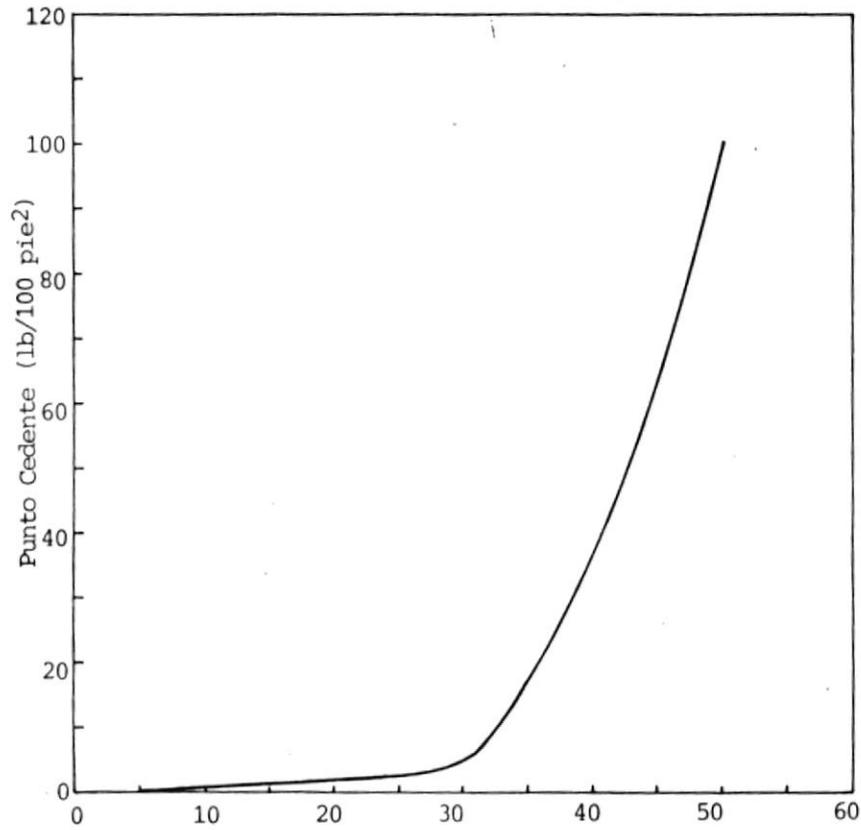
GRAFICO # 26



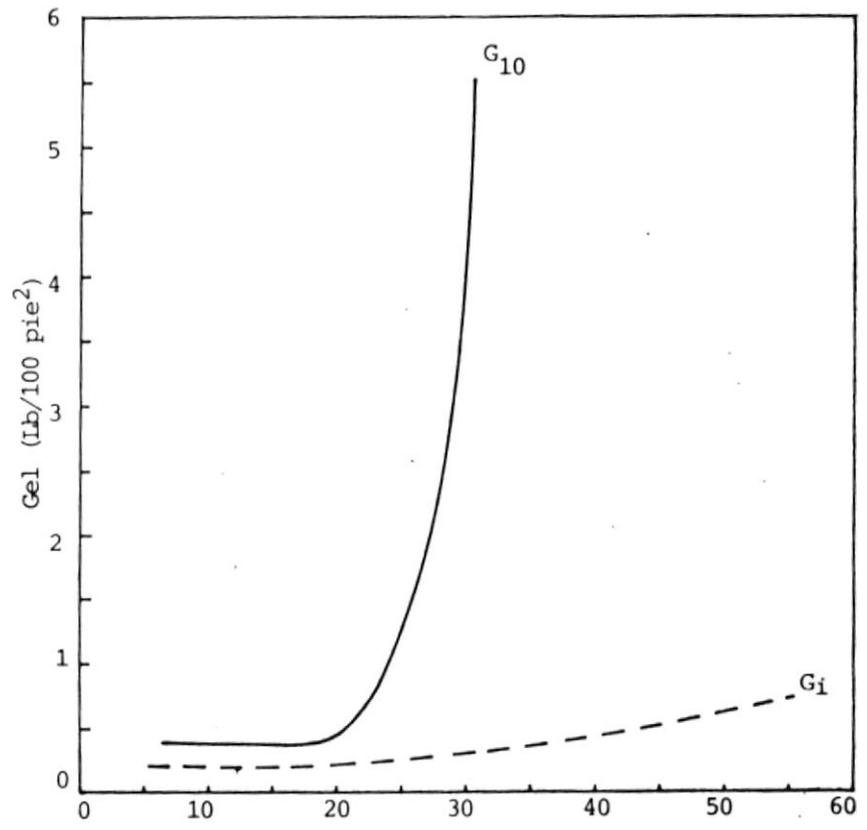
% de arcilla en peso

GRAFICO # 27

LODO BASE AGUA
MUESTRA N° 2

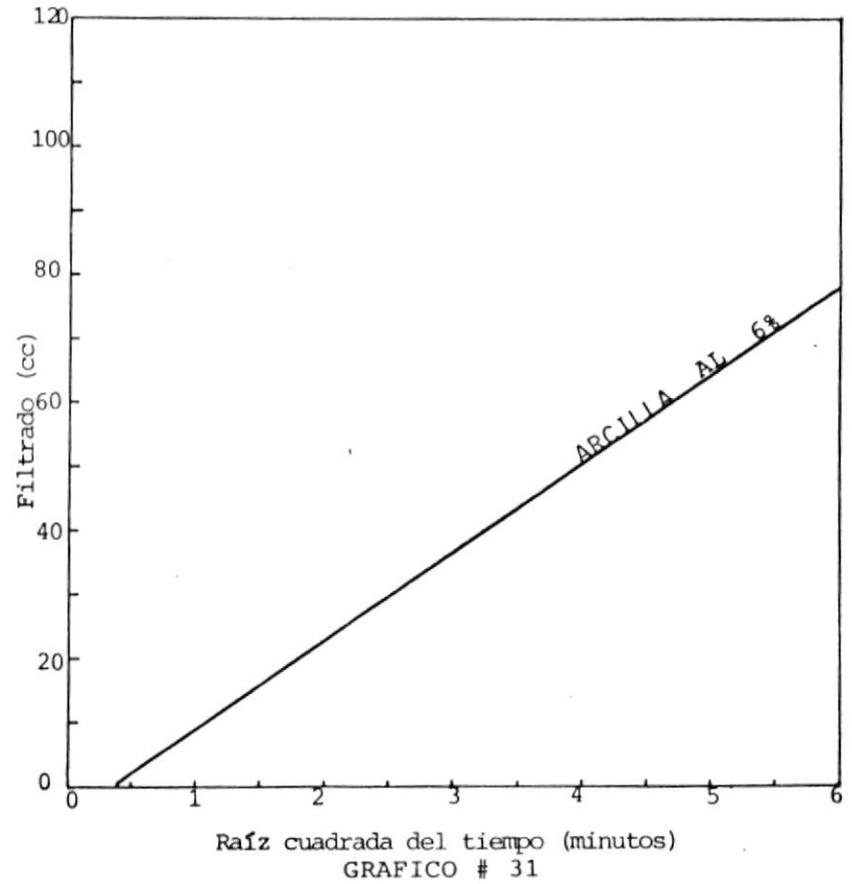
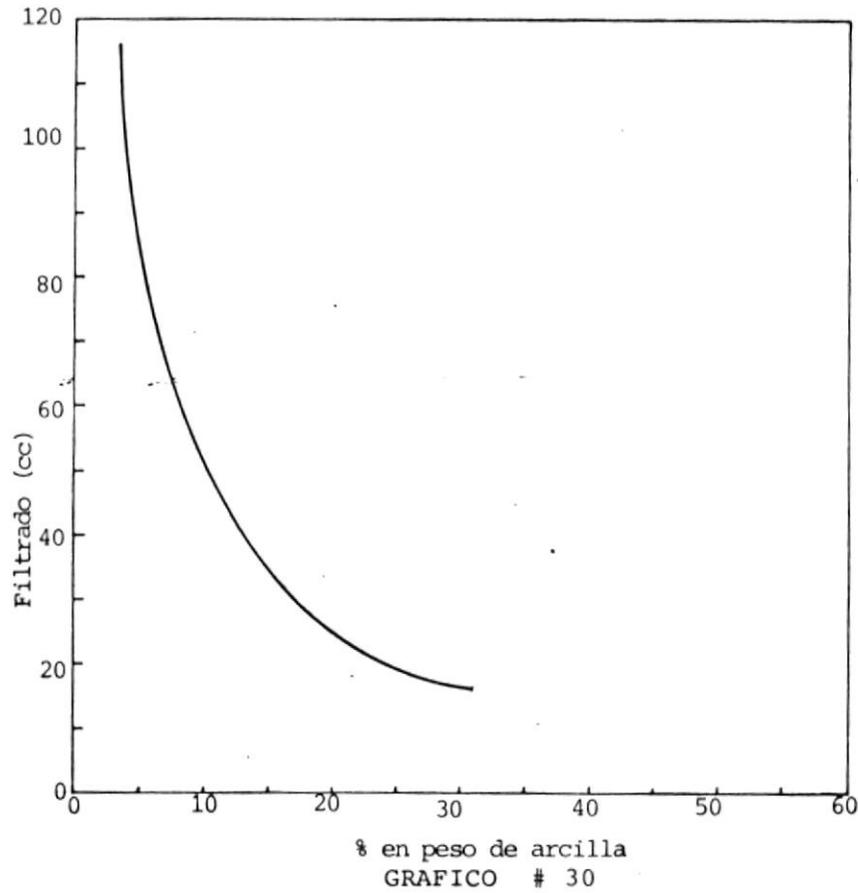


% en peso de arcilla
GRAFICO # 28

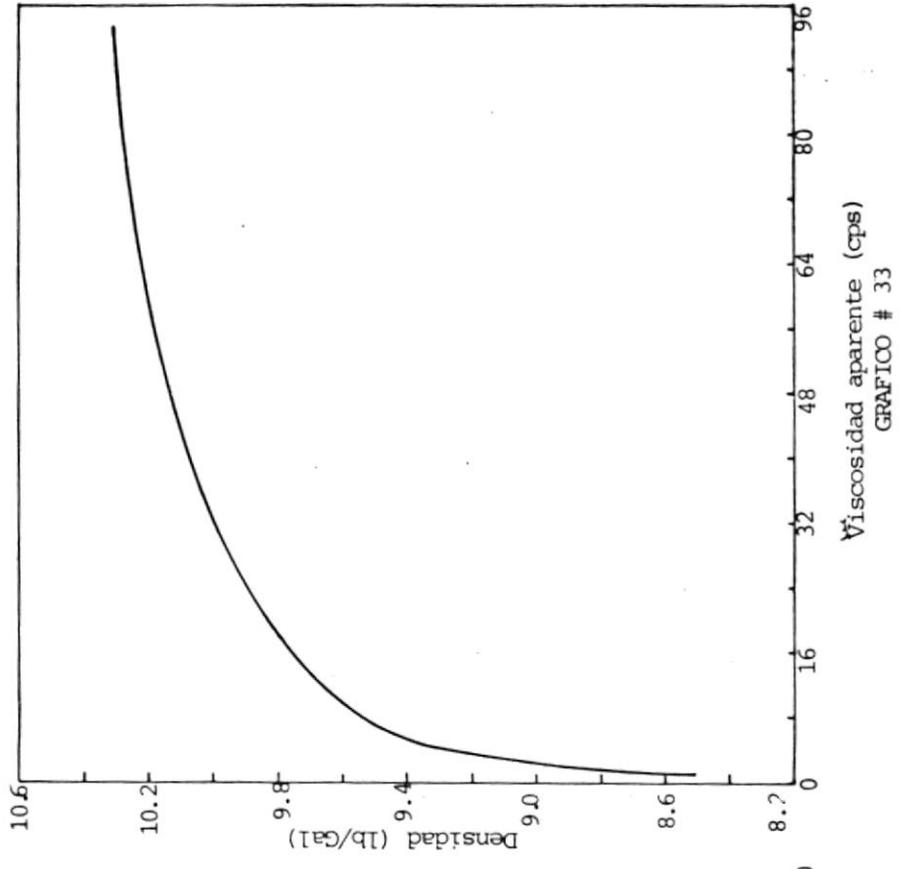
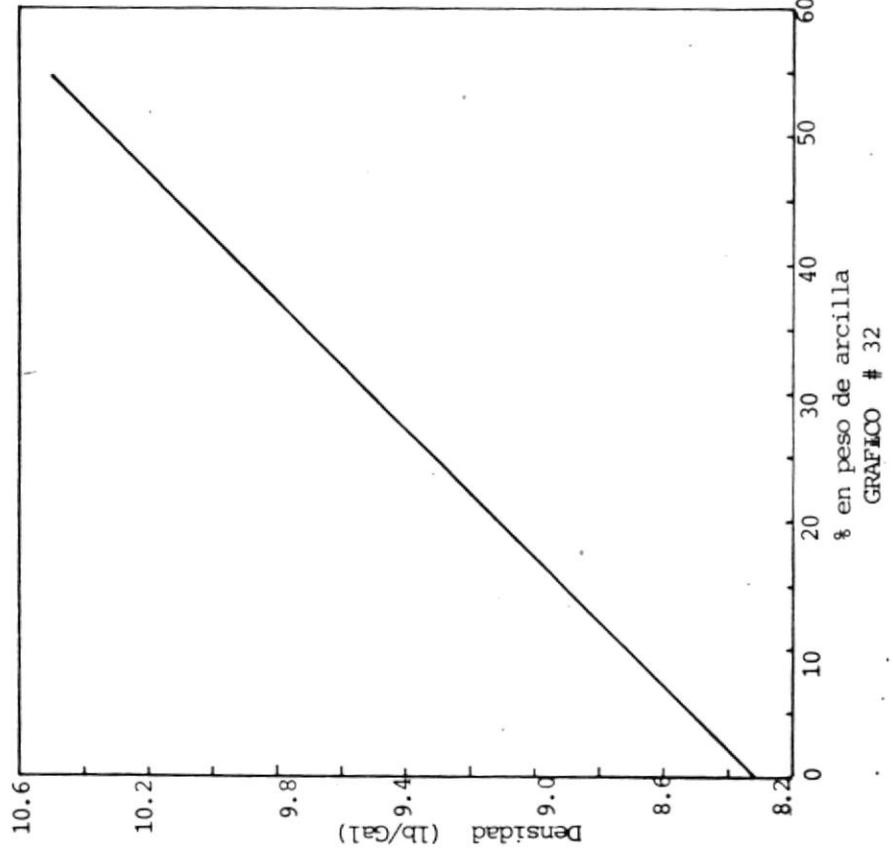


% en peso de arcilla
GRAFICO # 29

LODO BASE AGUA
MUESTRA N° 2



LODO BASE AGUA
MUESTRA N° 2



LODO BASE AGUA

MUESTRA N° 2 + BICARBONATO DE SODIO AL 5 %

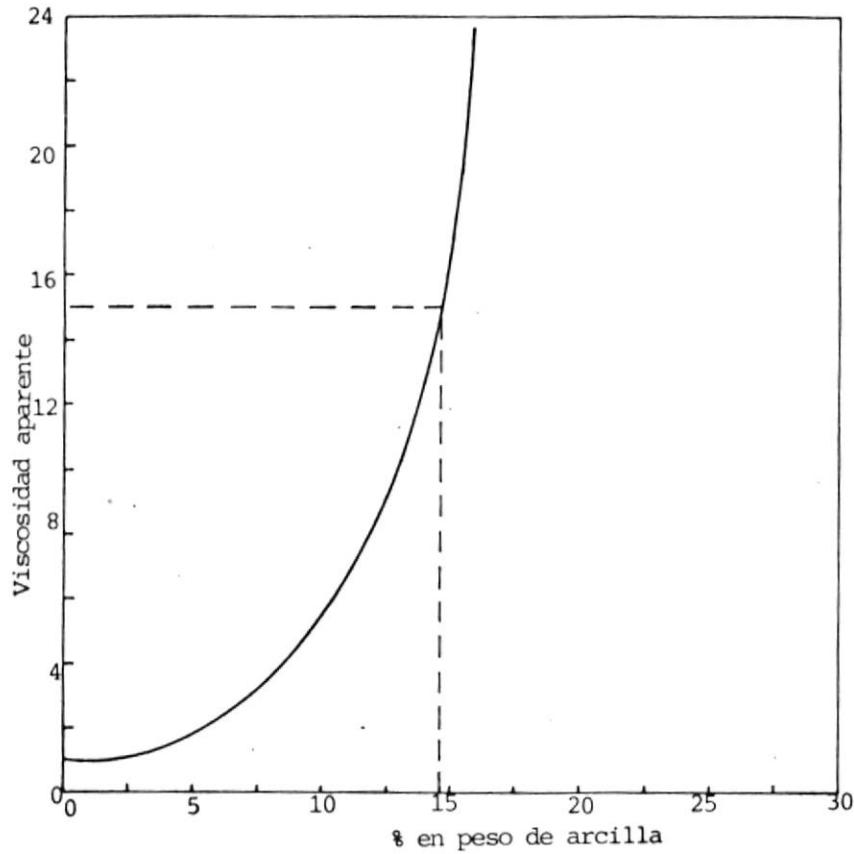


GRAFICO # 34

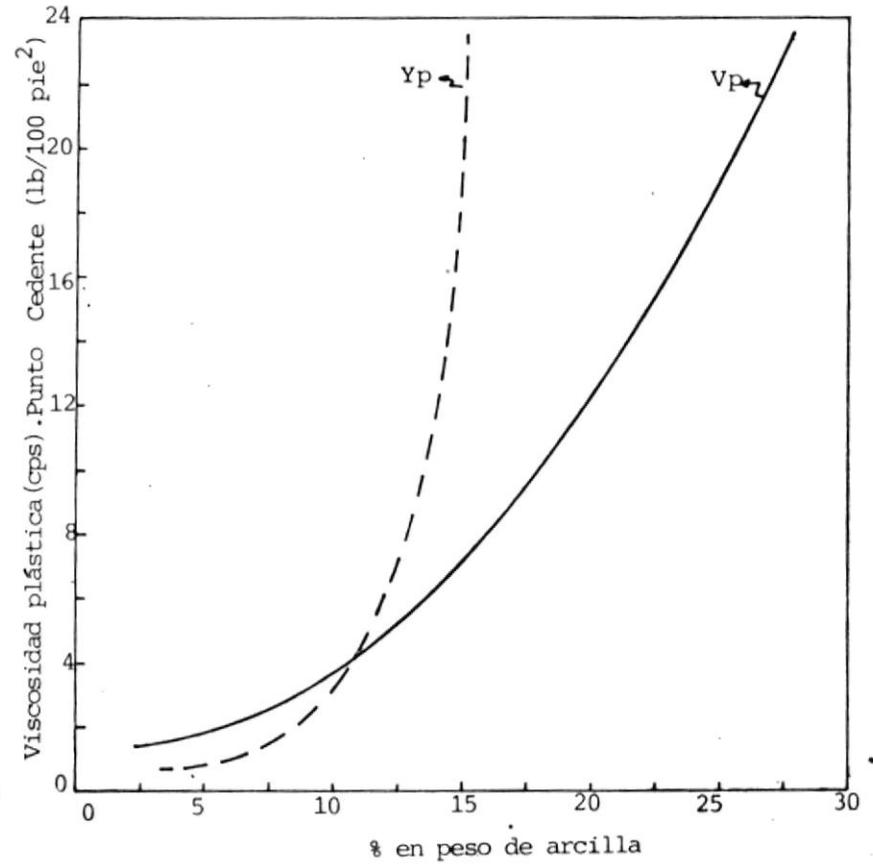
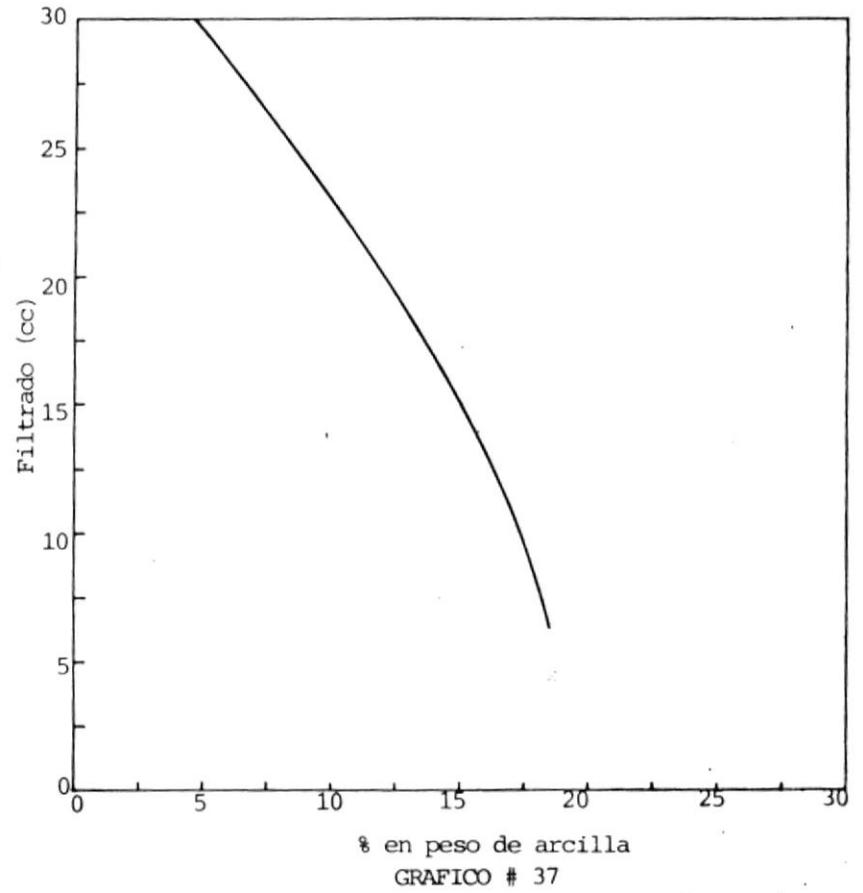
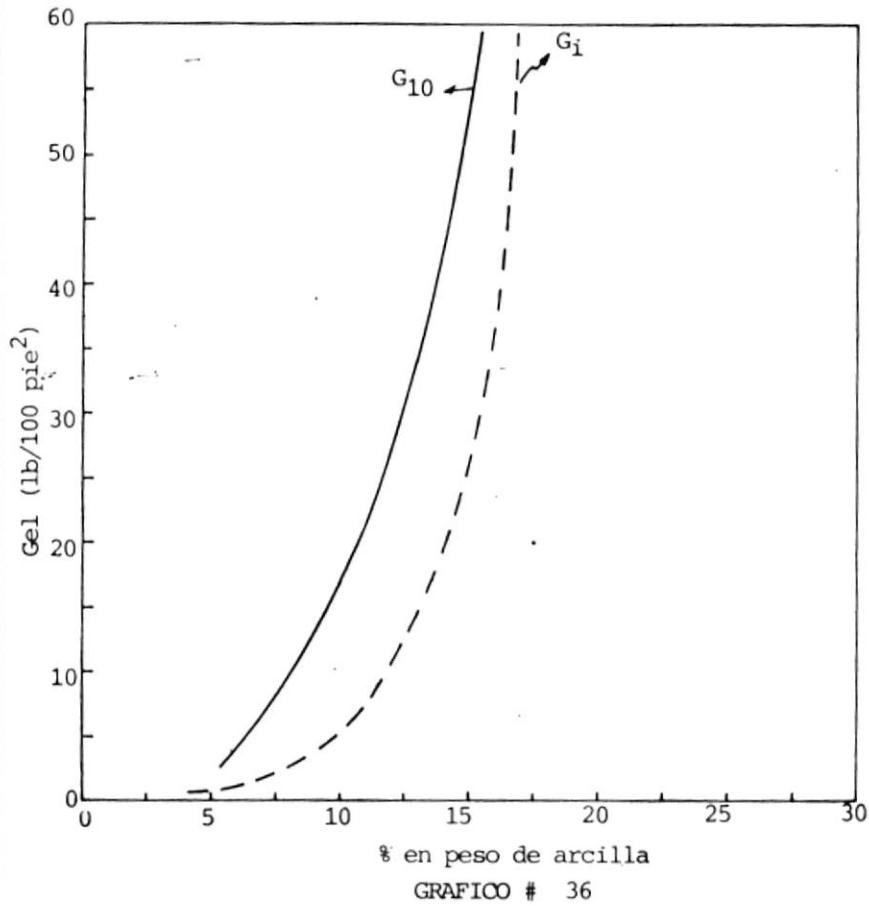
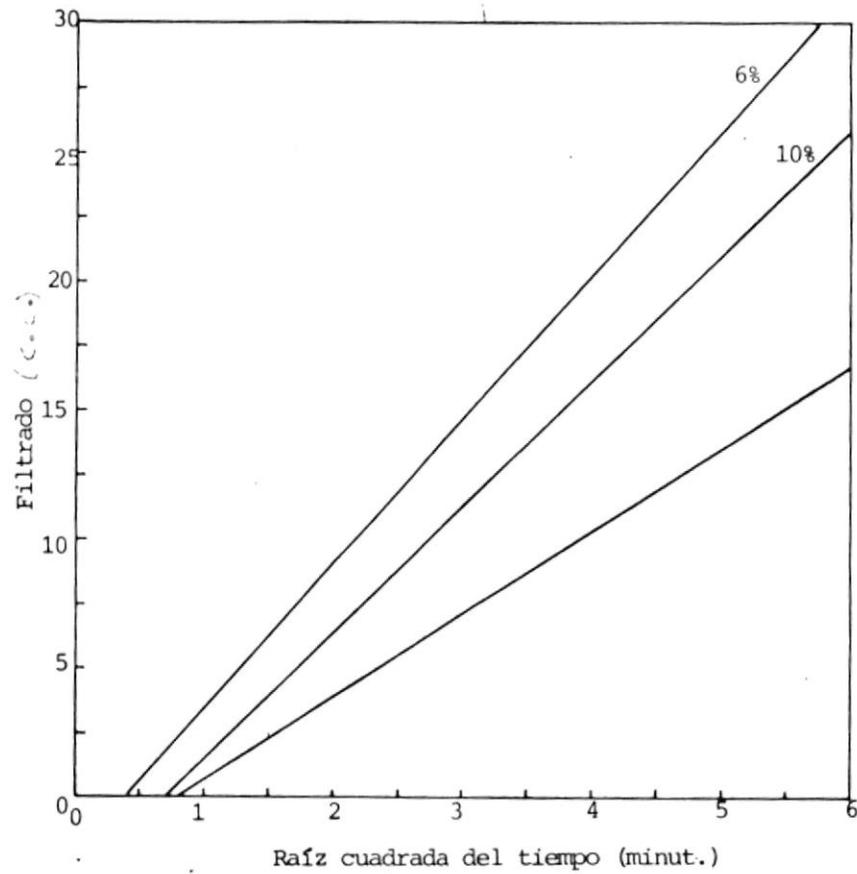


GRAFICO # 35

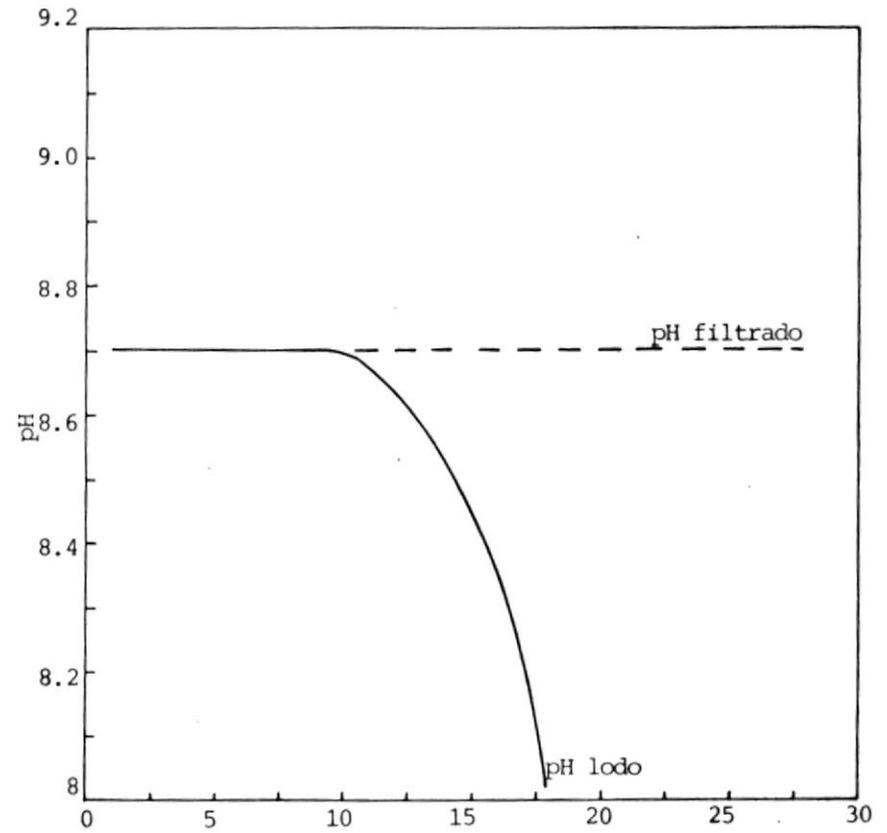
LODO BASE AGUA
 MUESTRA N° 2 + BICARBONATO DE SODIO AL 5%



LODO BASE AGUA
MUESTRA N° 2 + BICARBONATO DE SODIO AL 5%

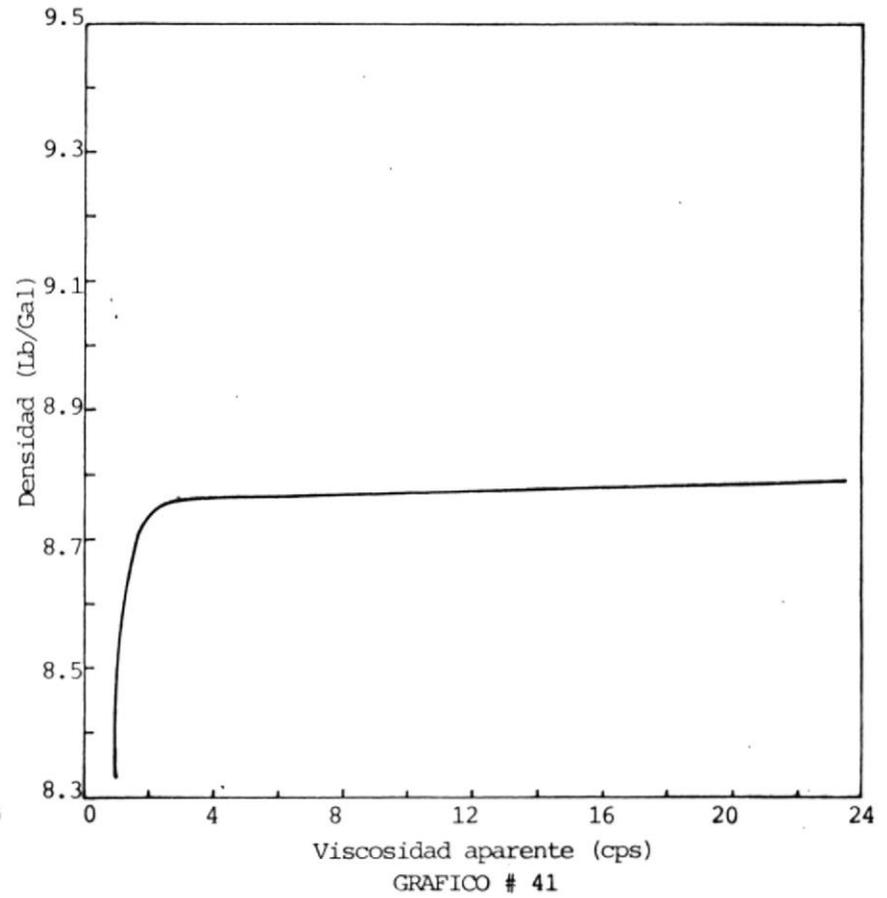
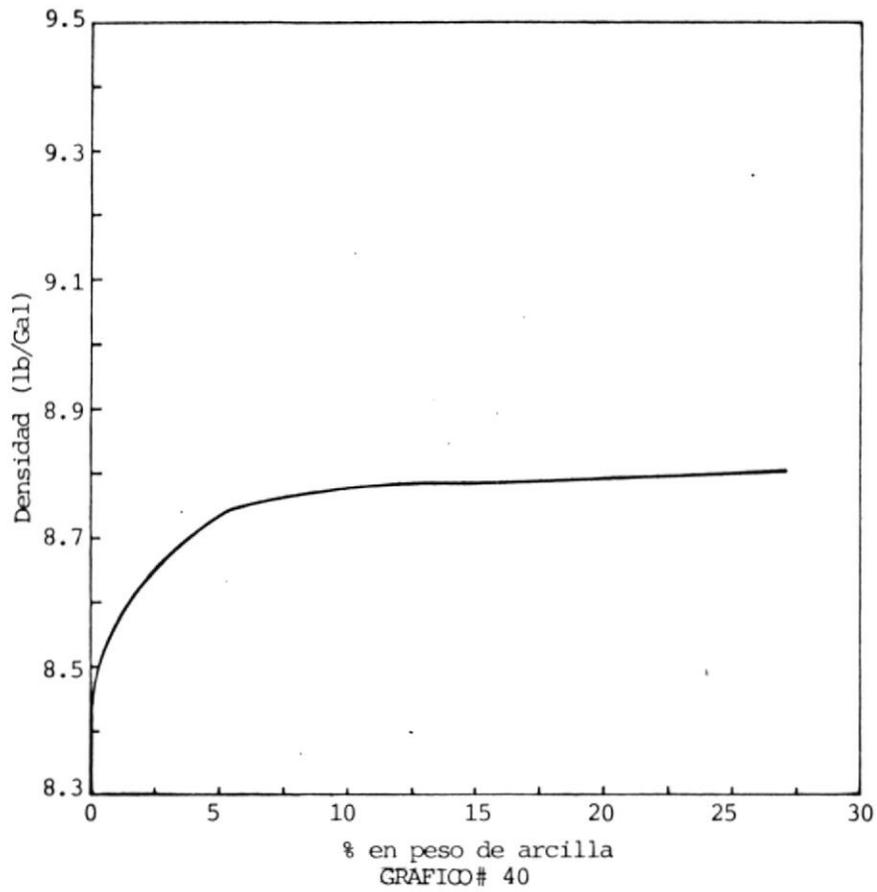


Raíz cuadrada del tiempo (minut.)
GRAFICO # 38



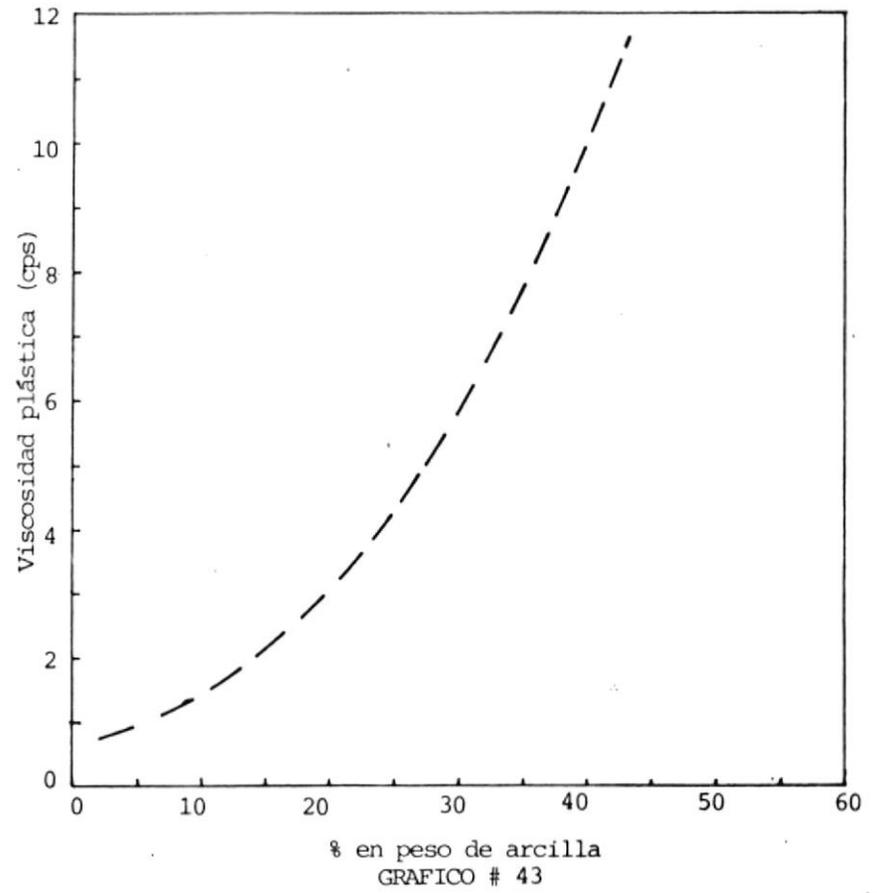
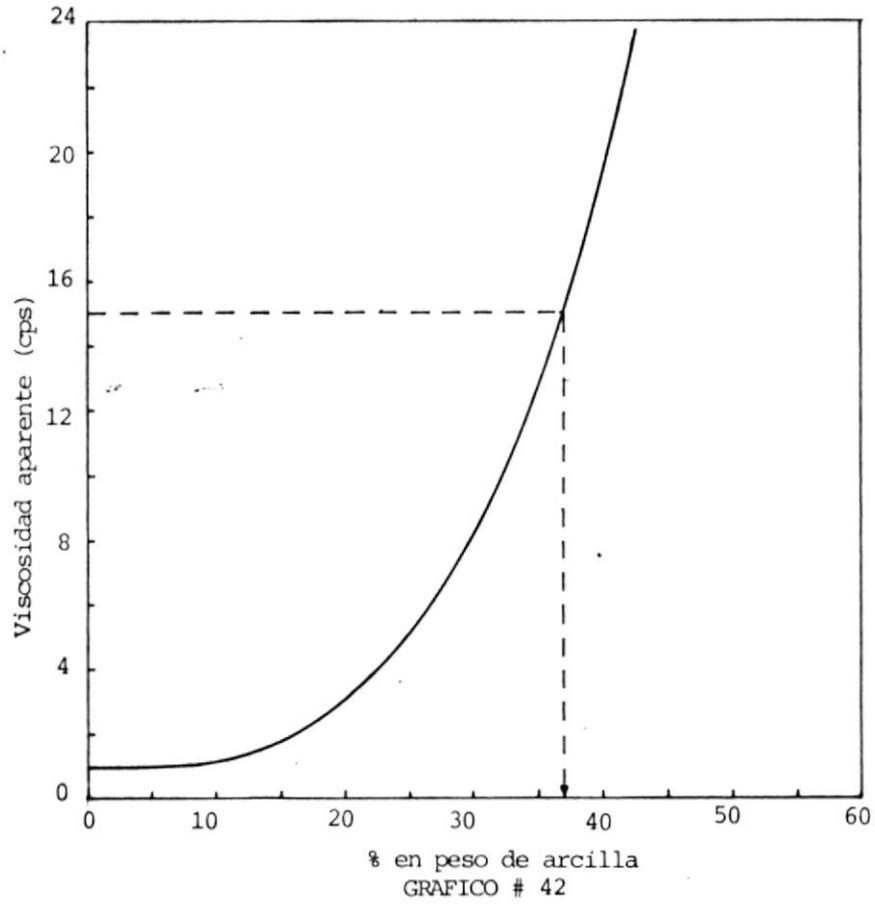
% en peso de arcilla
GRAFICO # 39

LODO BASE AGUA
MUESTRA N° 2 + BICARBONATO DE SODIO AL 5 %



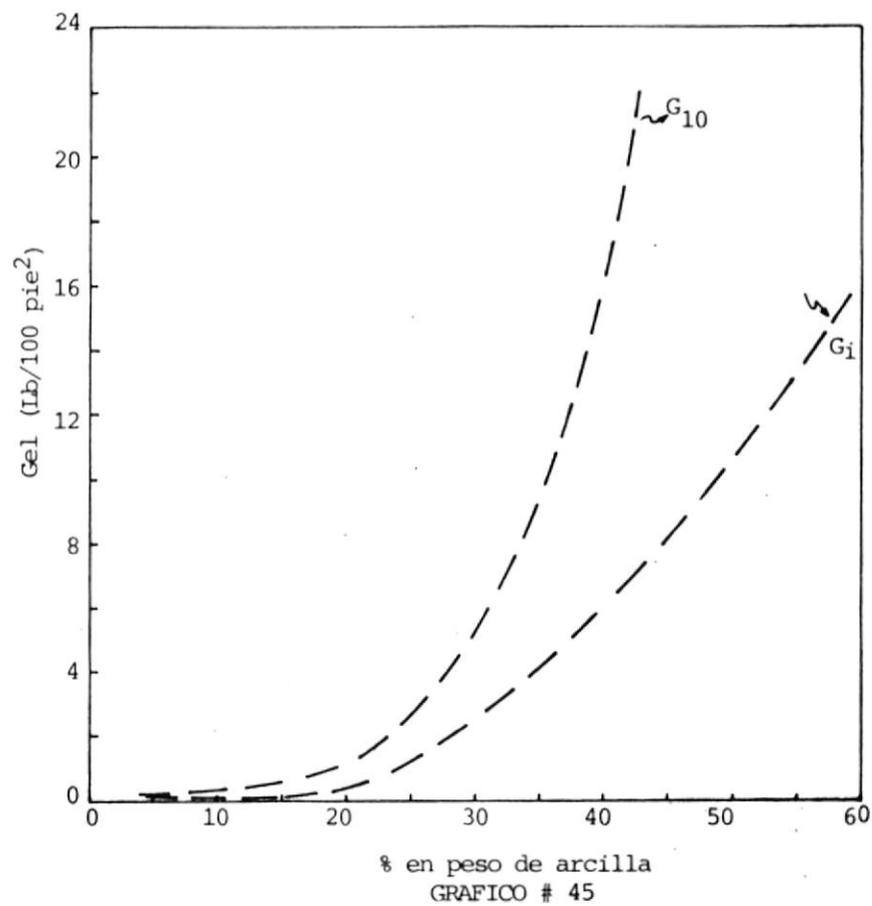
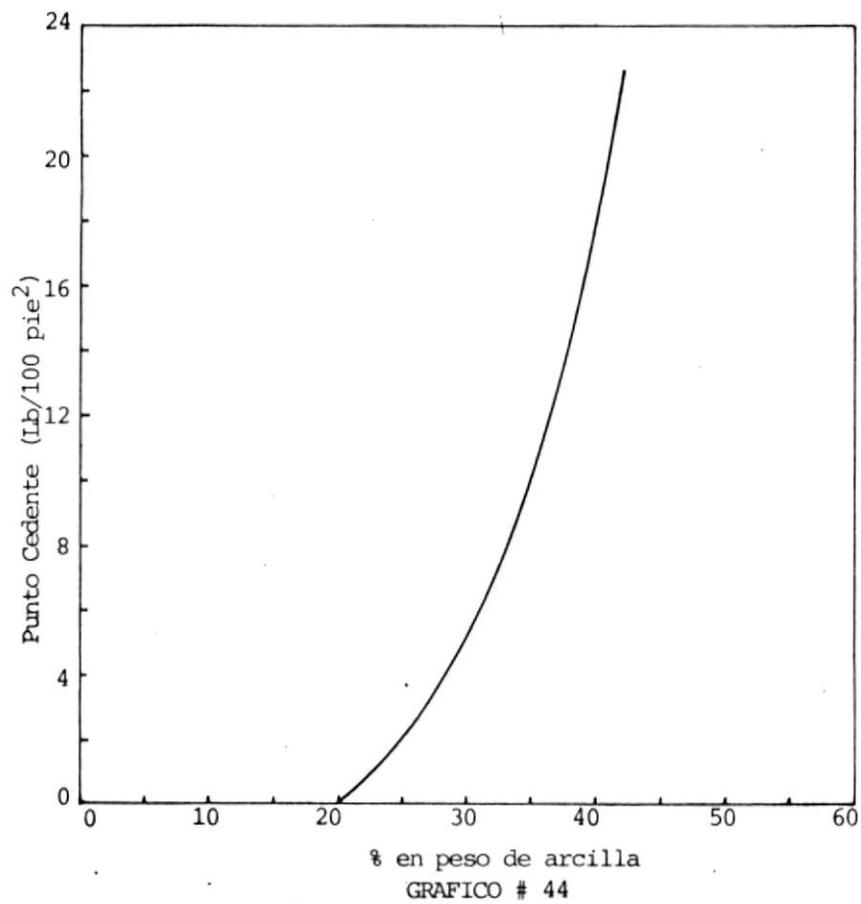
LODO BASE AGUA

MUESTRA Nº 3

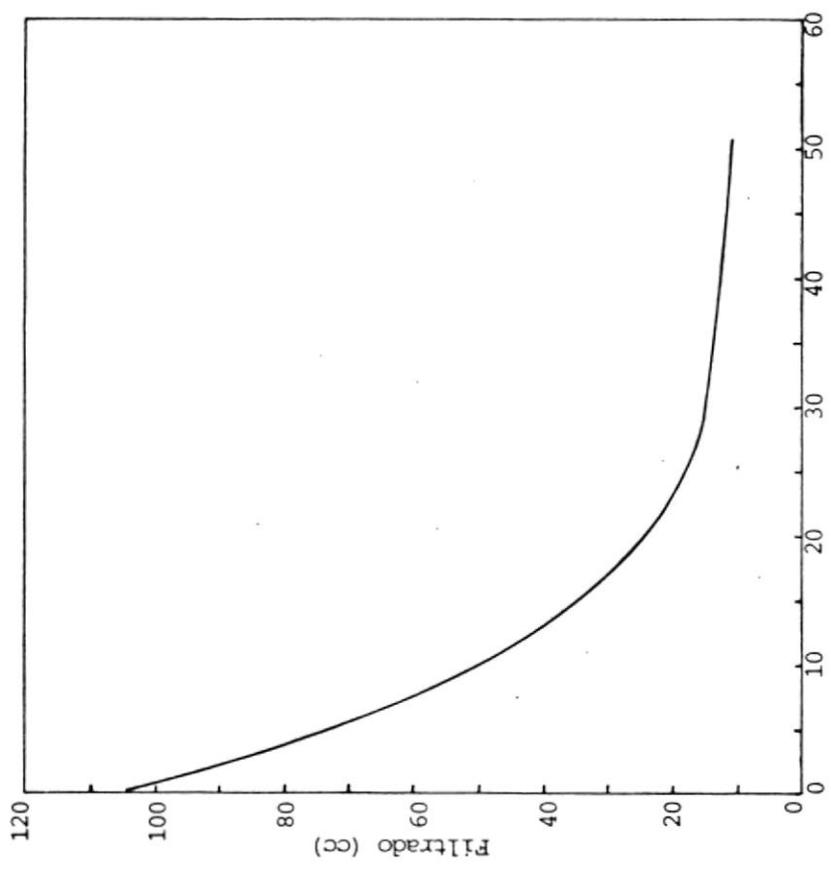


LODO BASE AGUA

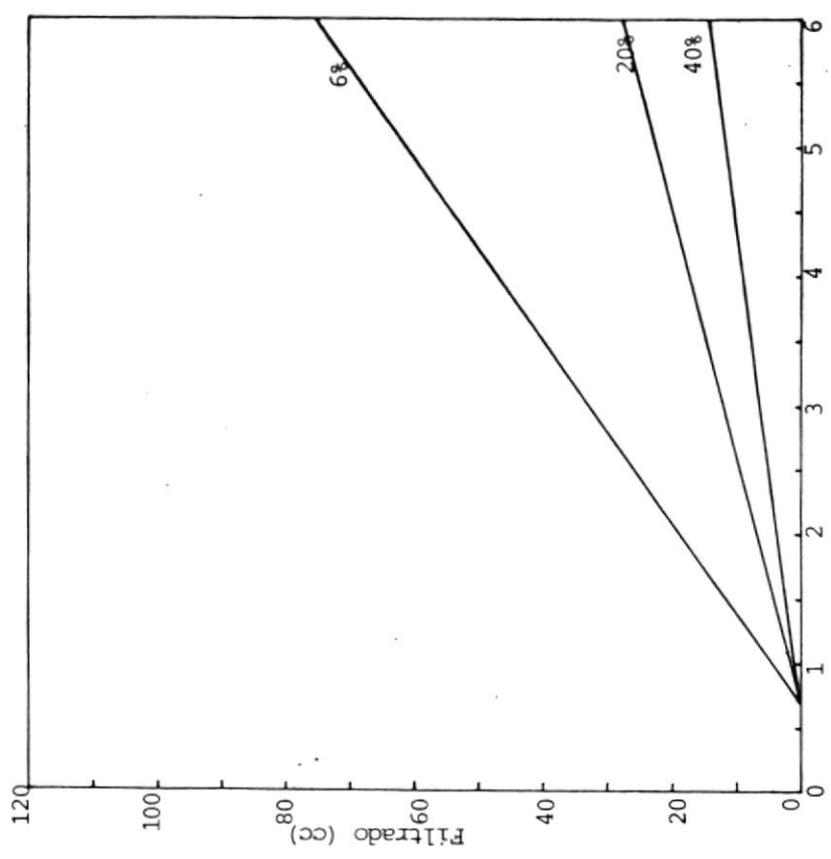
MUESTRA N° 3



LODO BASE AGUA
MUESTRA Nº 3



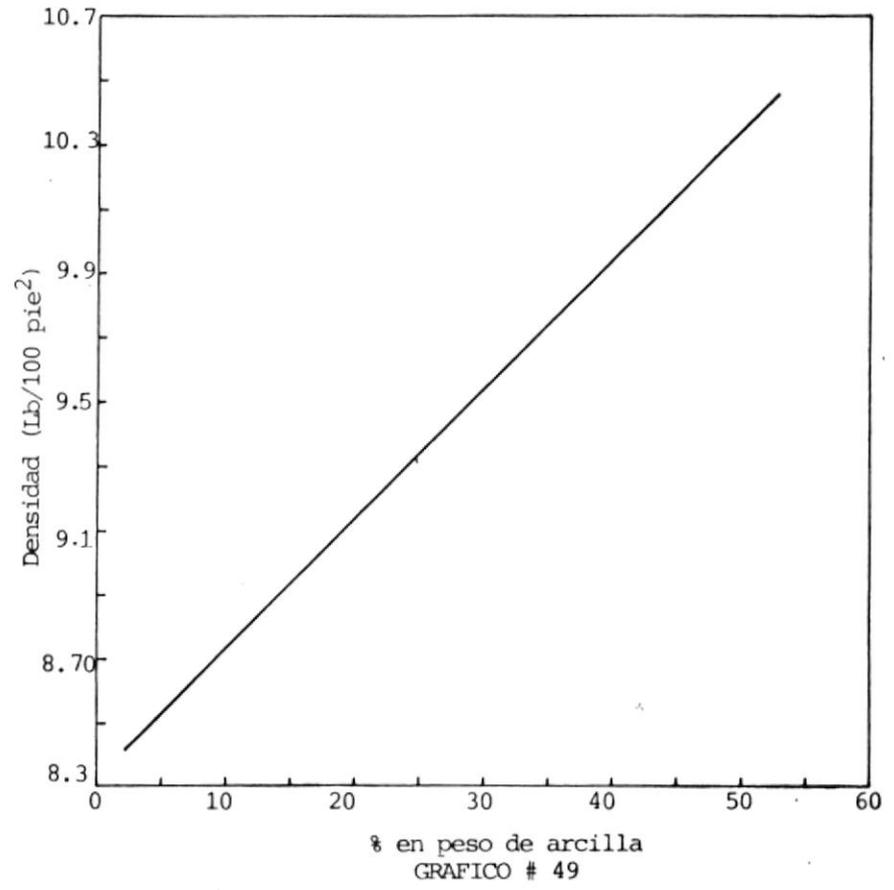
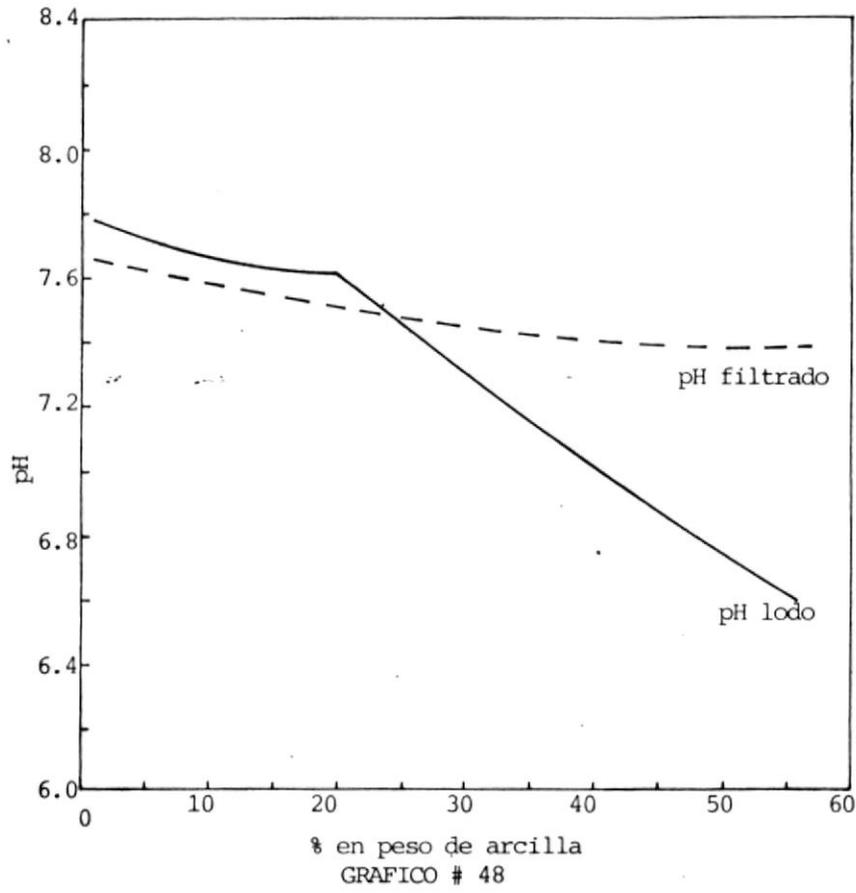
% en peso de arcilla
GRAFICO # 46



Raíz cuadrada del tiempo (minutos)
GRAFICO # 47

LODO BASE AGUA

MUESTRA N° 3



LODO BASE AGUA

MUESTRA N° 3

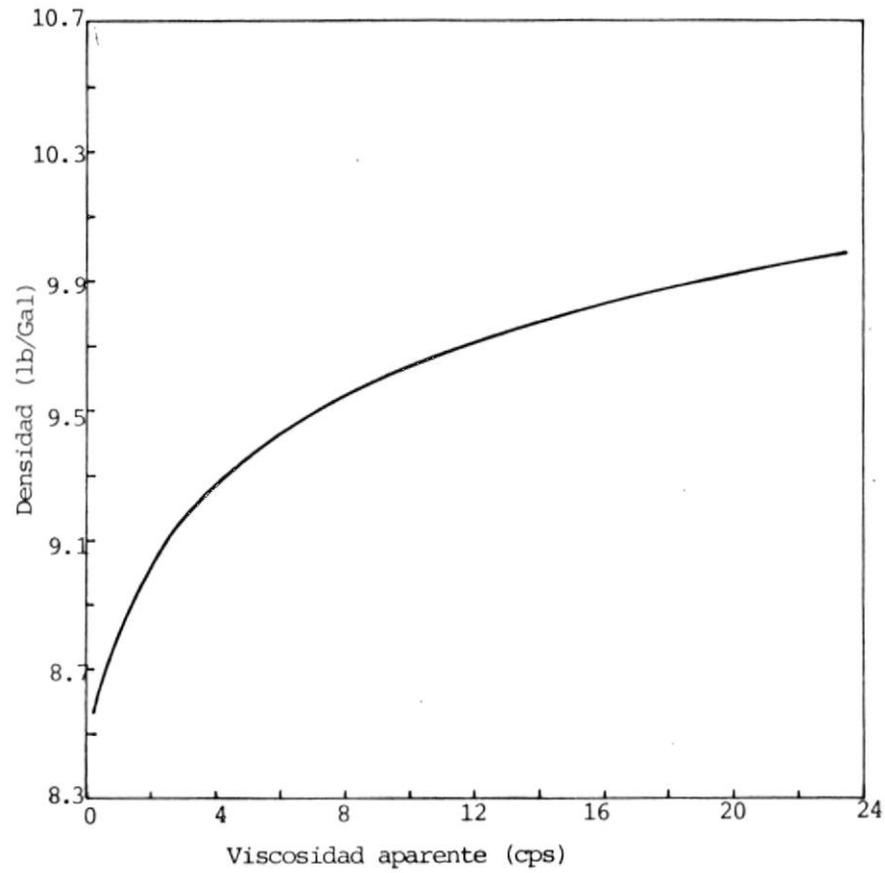
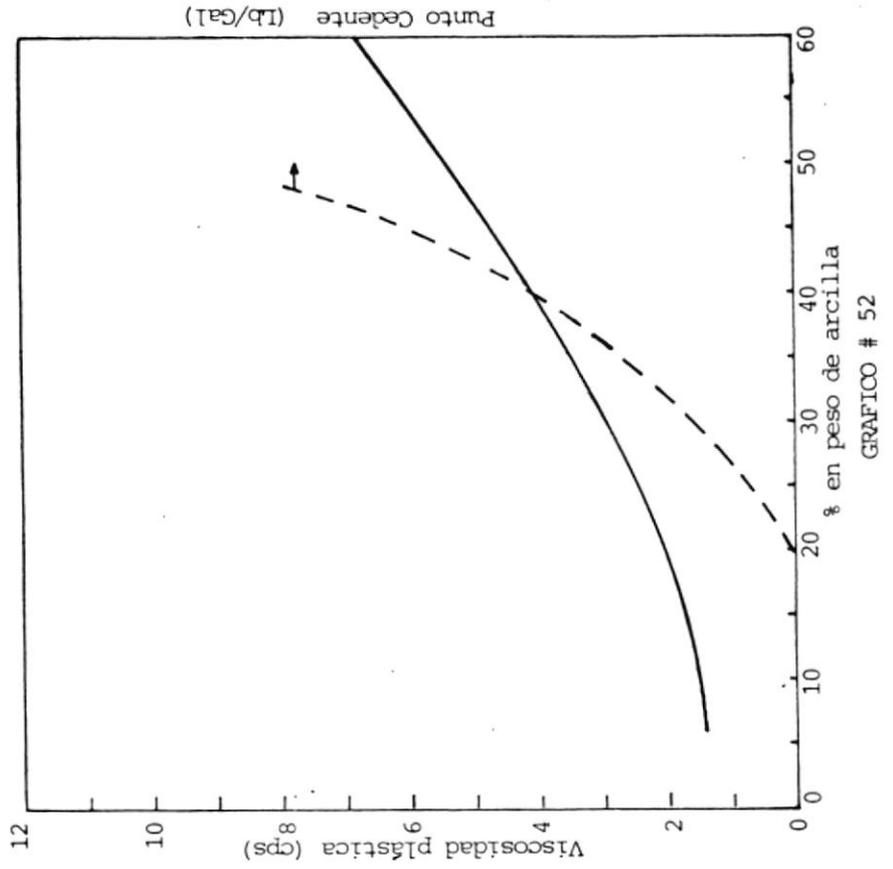
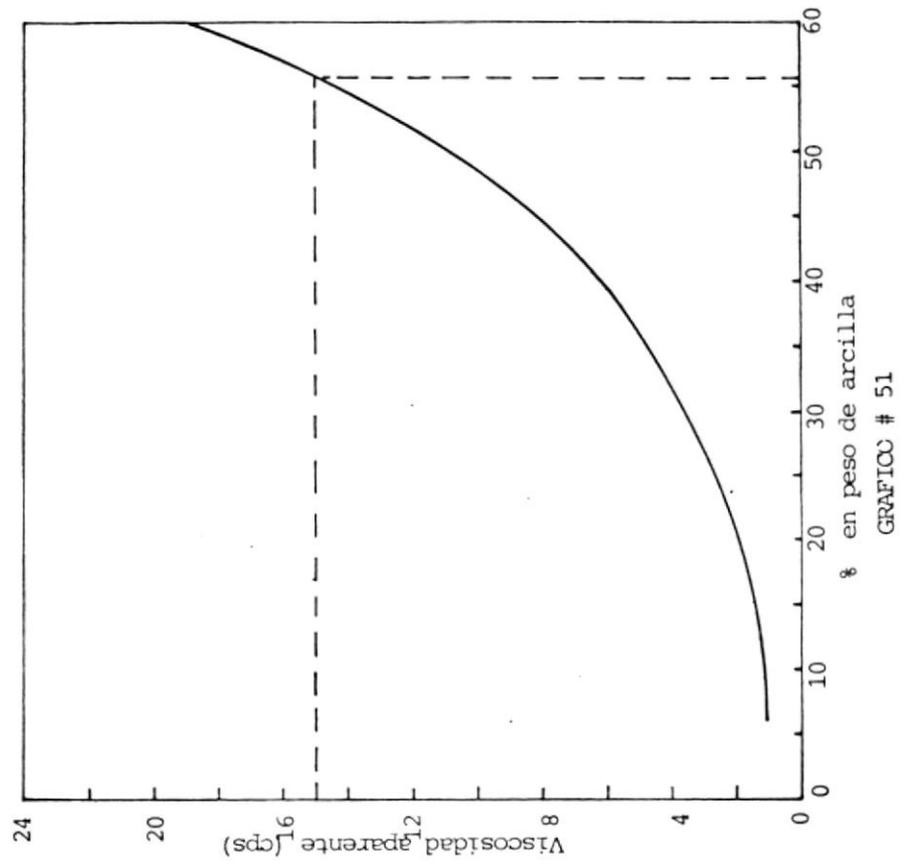


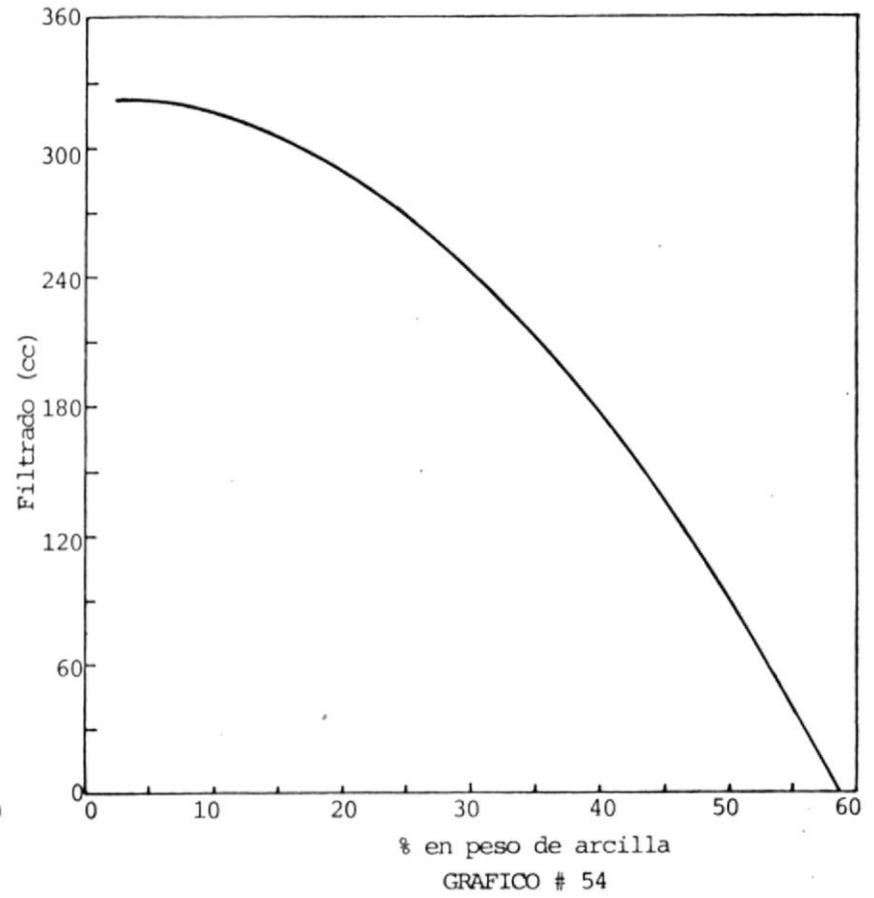
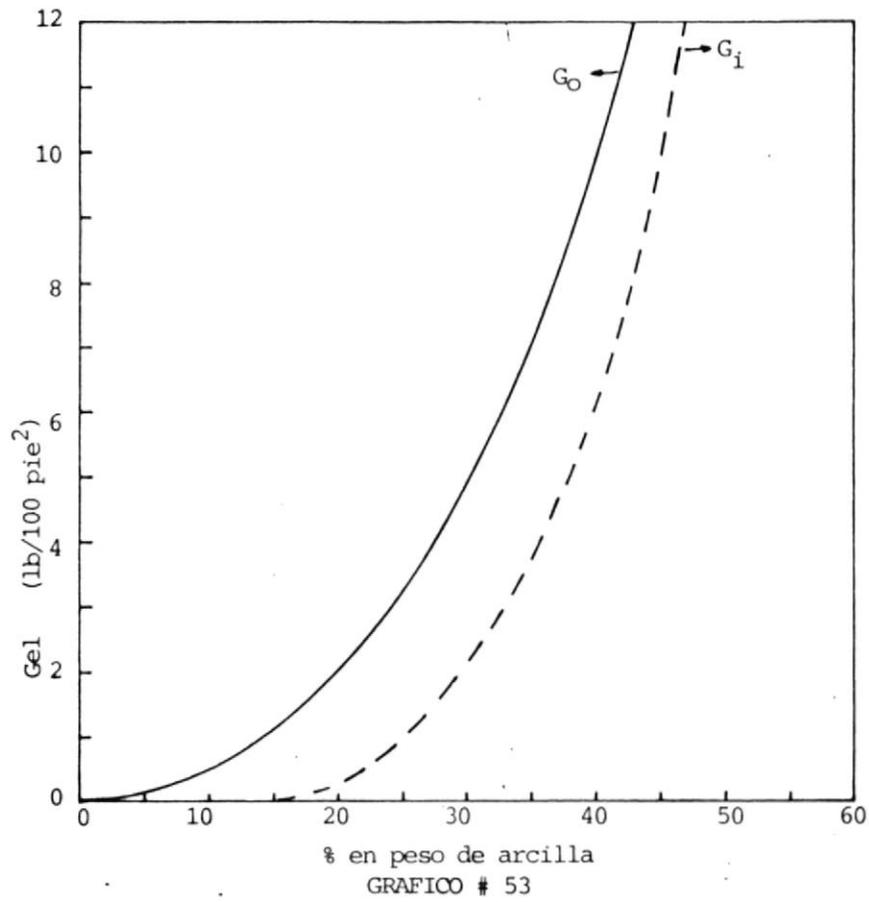
GRAFICO # 50

LODO BASE AGUA
MUESTRA Nº 5



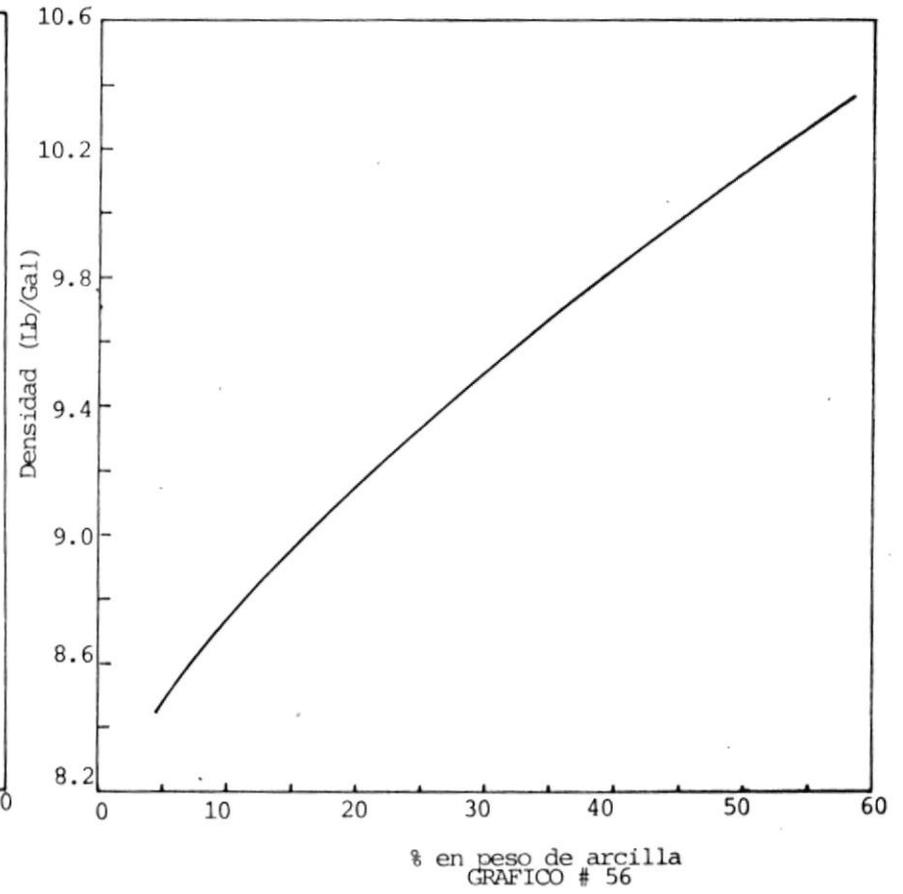
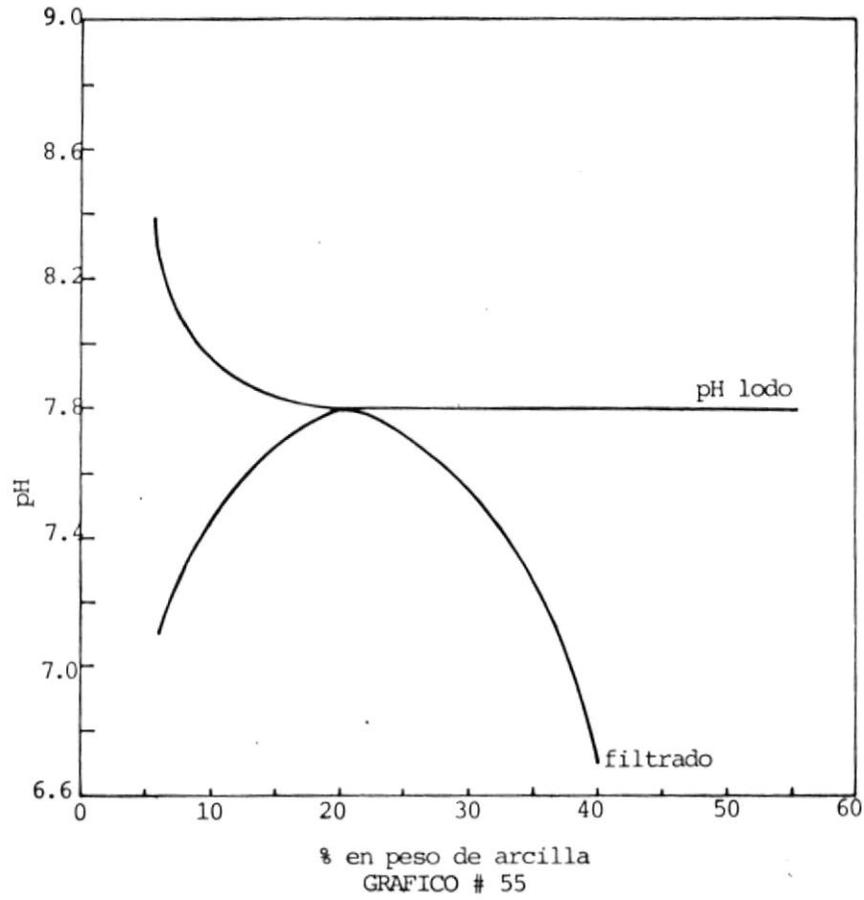
LODO BASE AGUA

MUESTRA N° 5



LODO BASE AGUA

MUESTRA N° 5



LODO BASE AGUA
MUESTRA N° 5

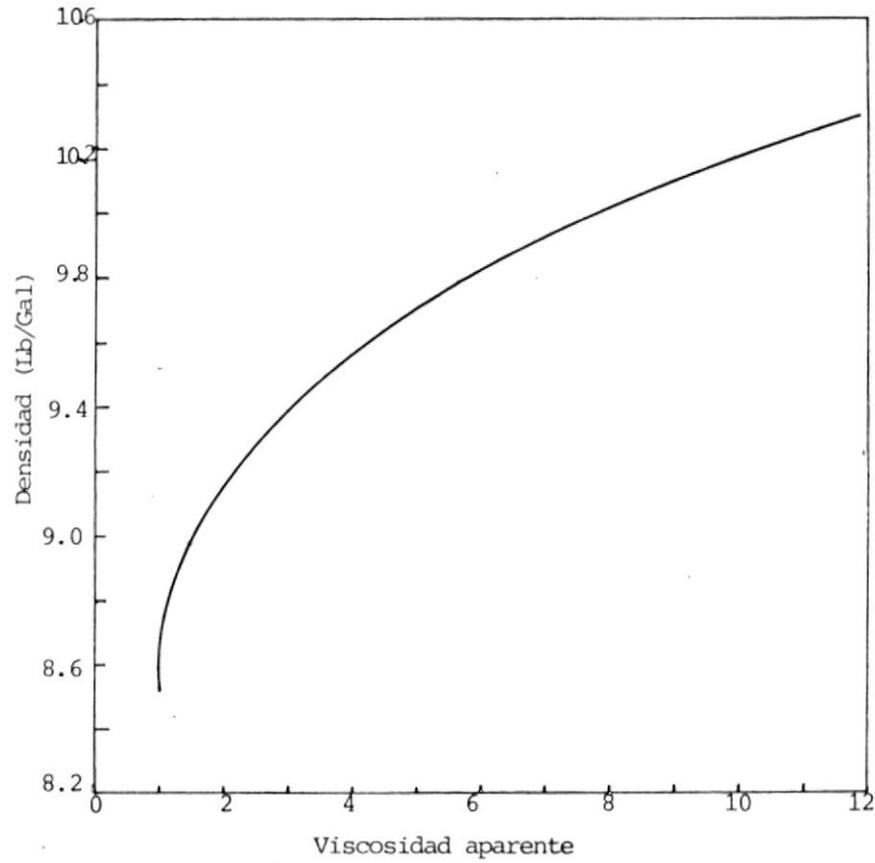
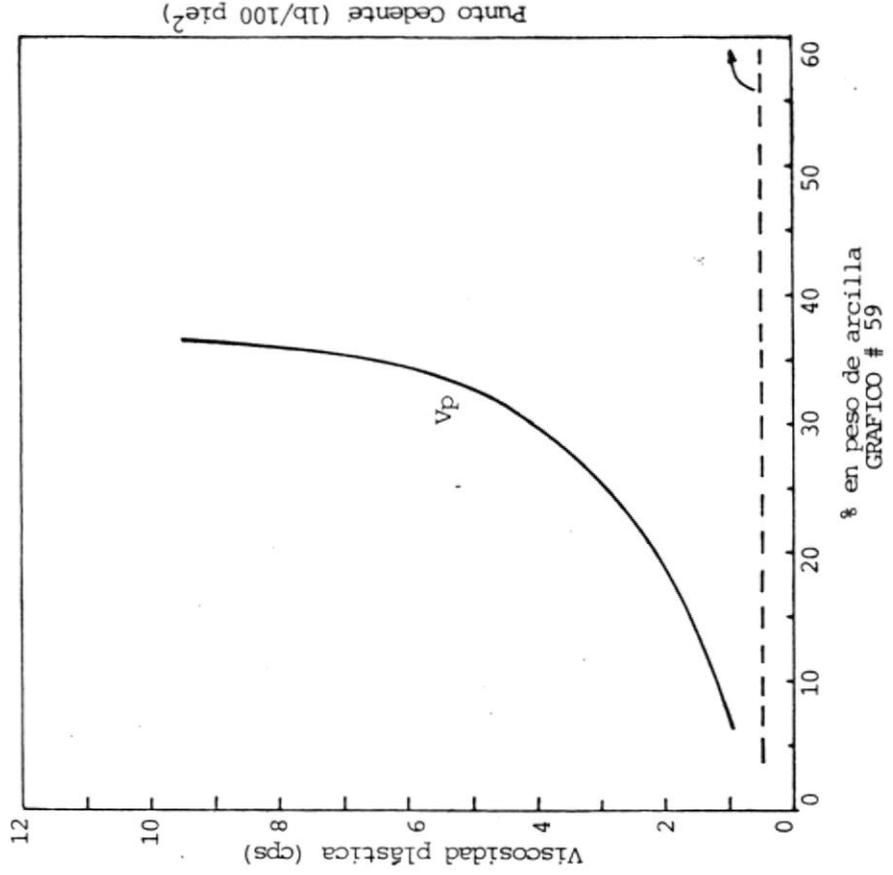
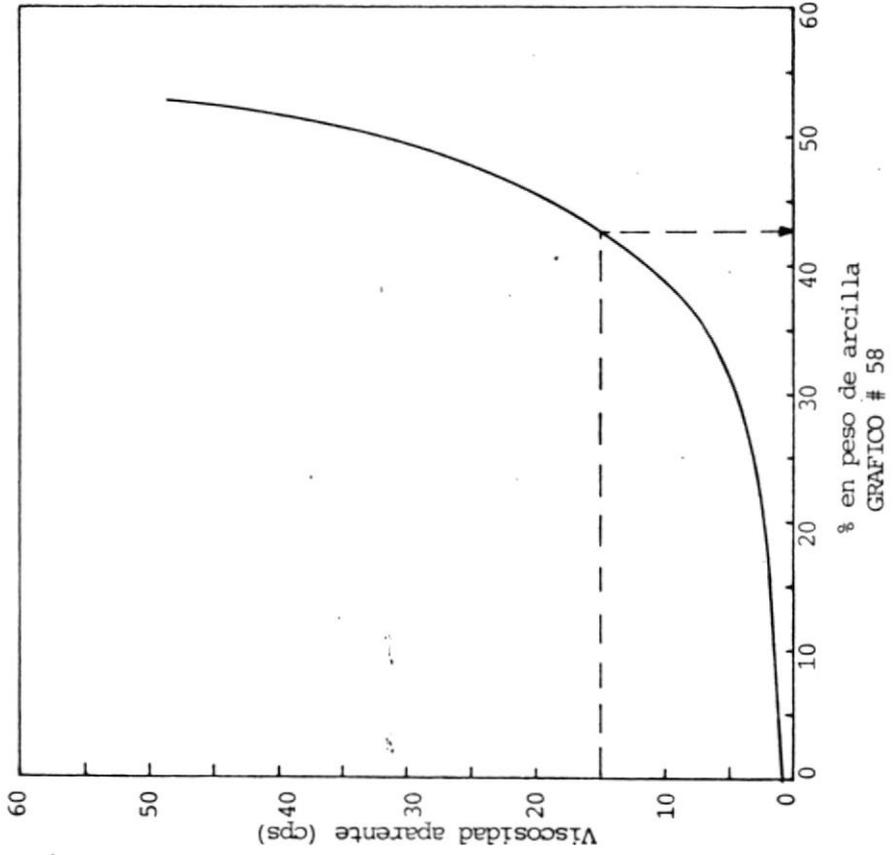
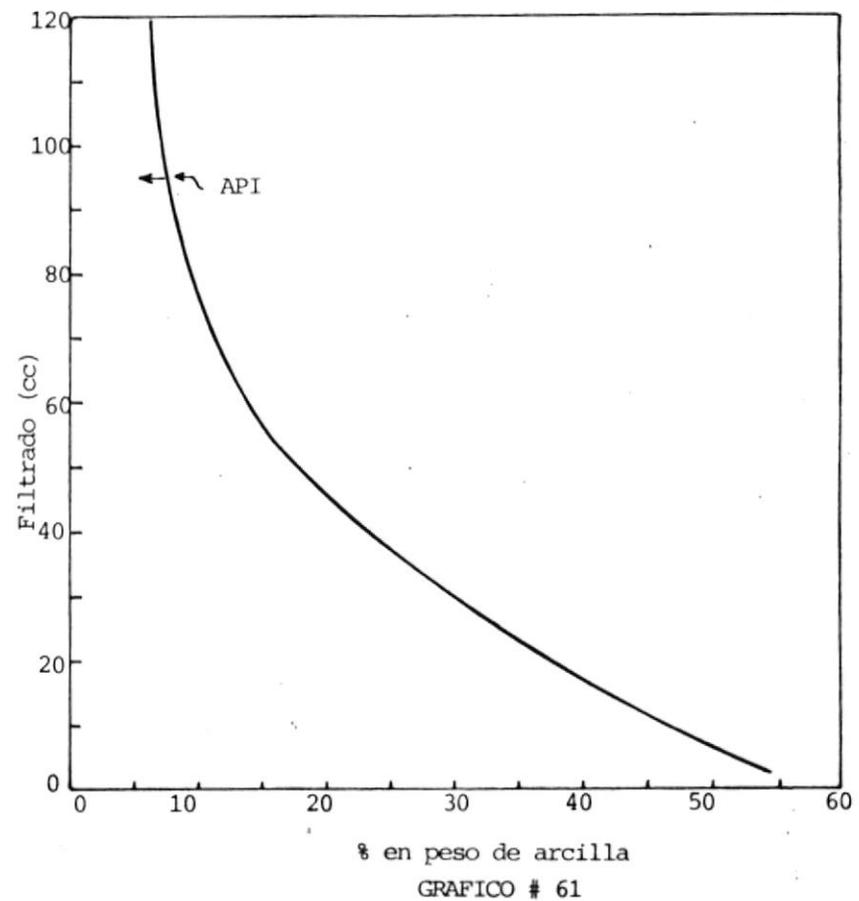
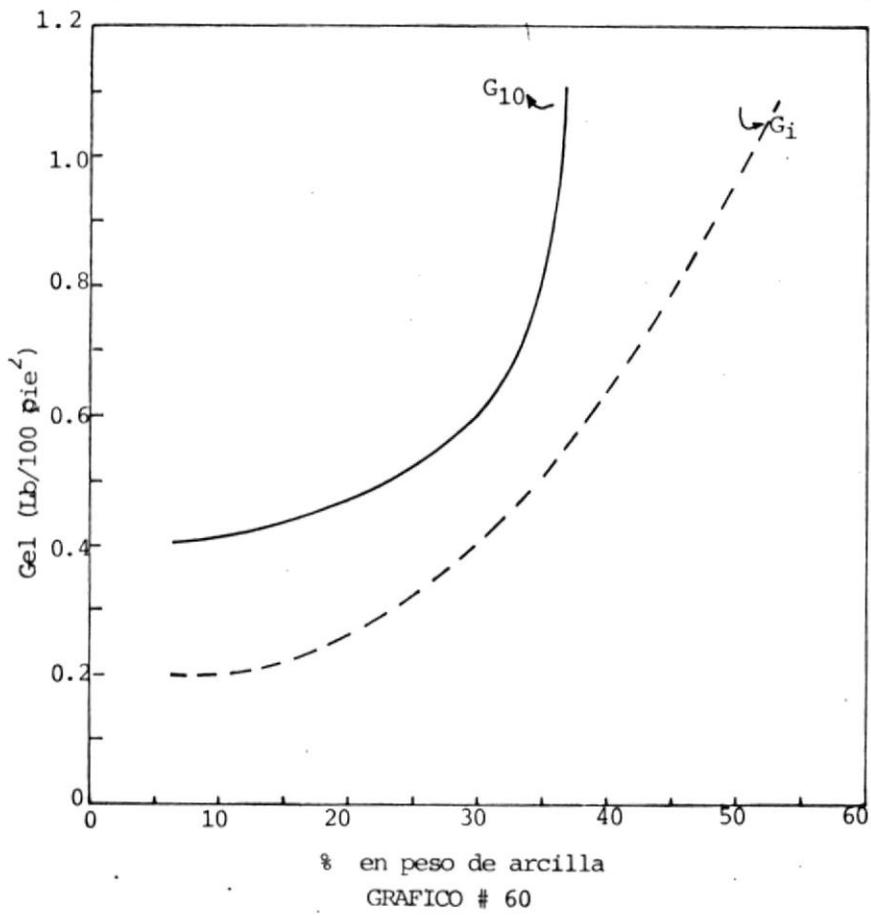


GRAFICO # 57

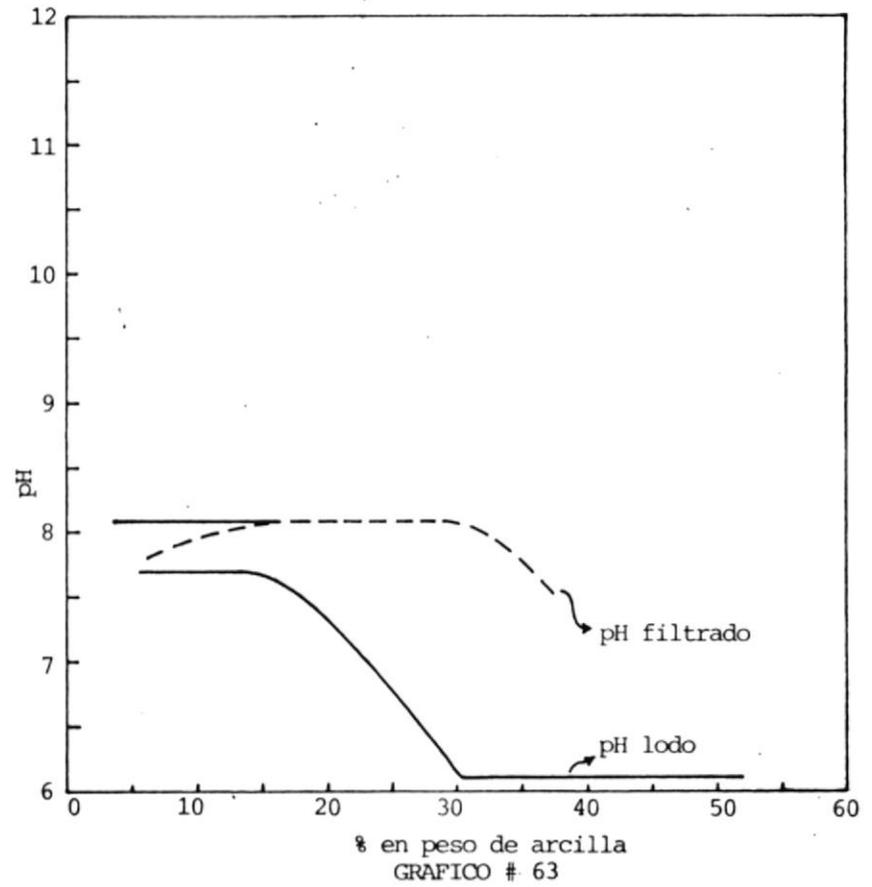
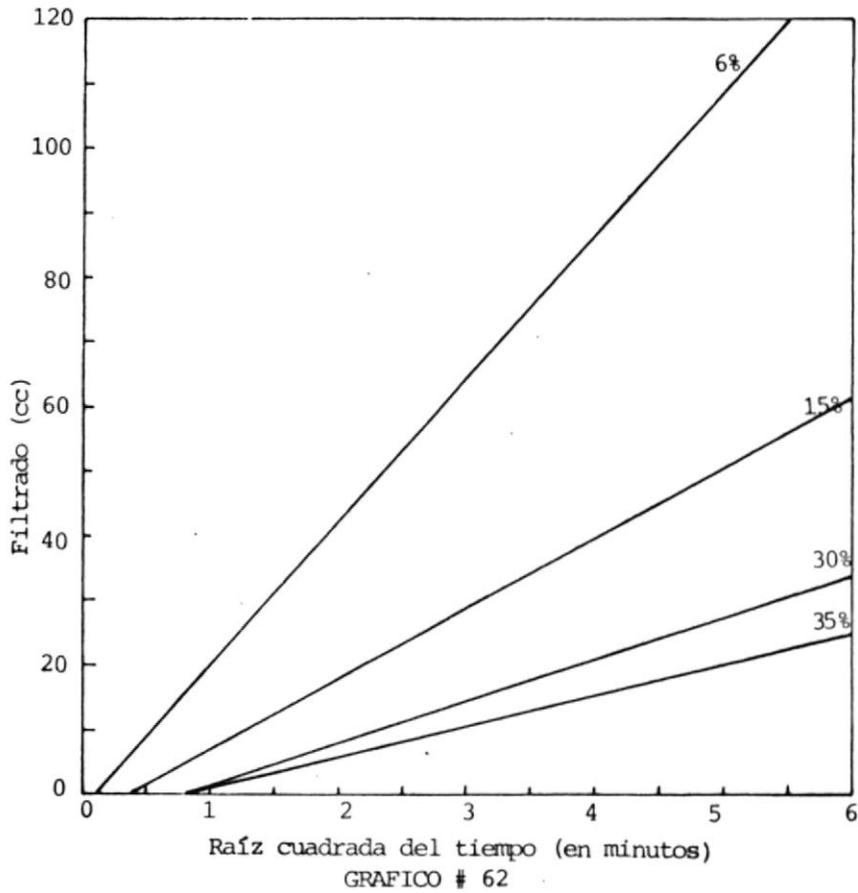
LODO BASE AGUA
MUESTRA Nº 6



LODO BASE AGUA
MUESTRA N° 6

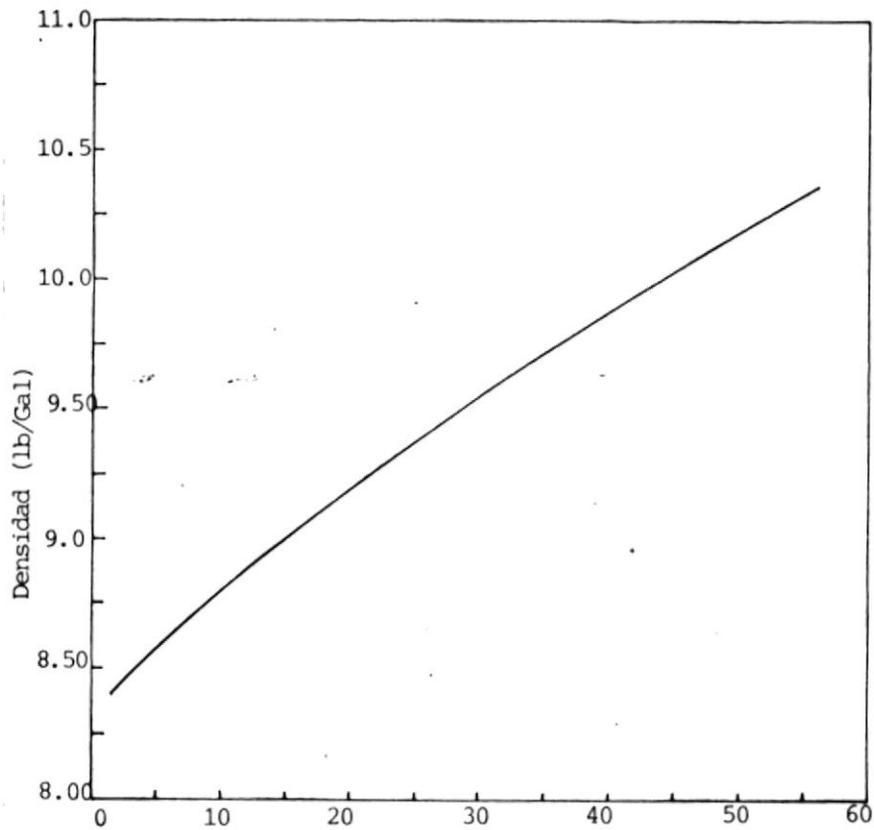


LODO BASE AGUA
MUESTRA N° 6



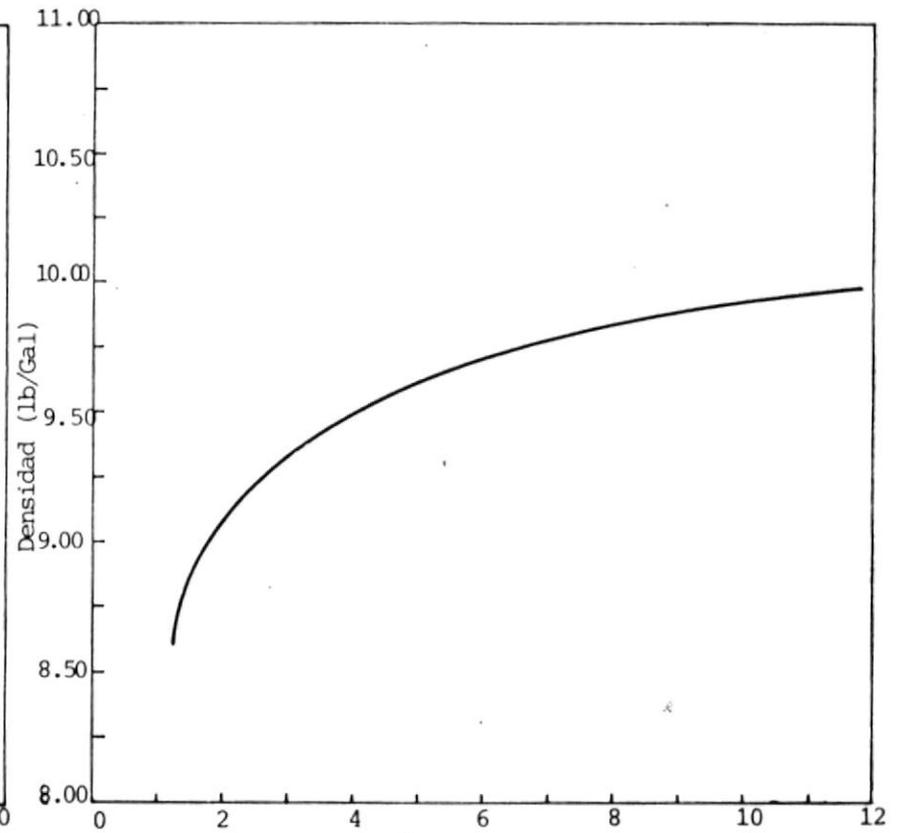
LODO BASE AGUA

MUESTRA Nº 6



% en peso de arcilla

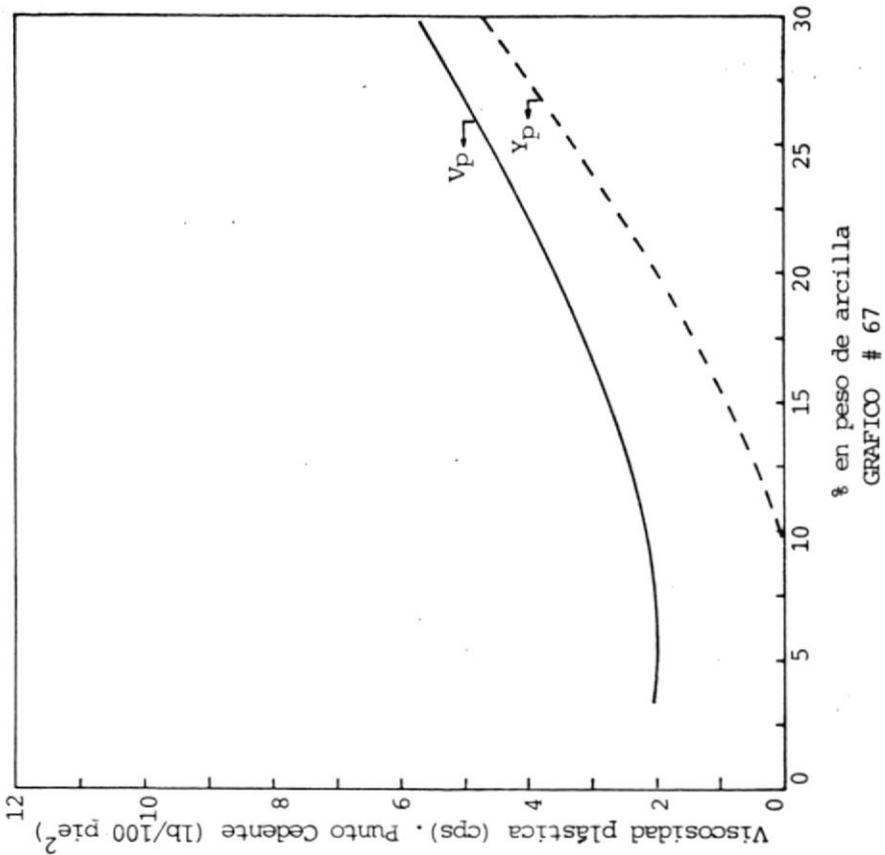
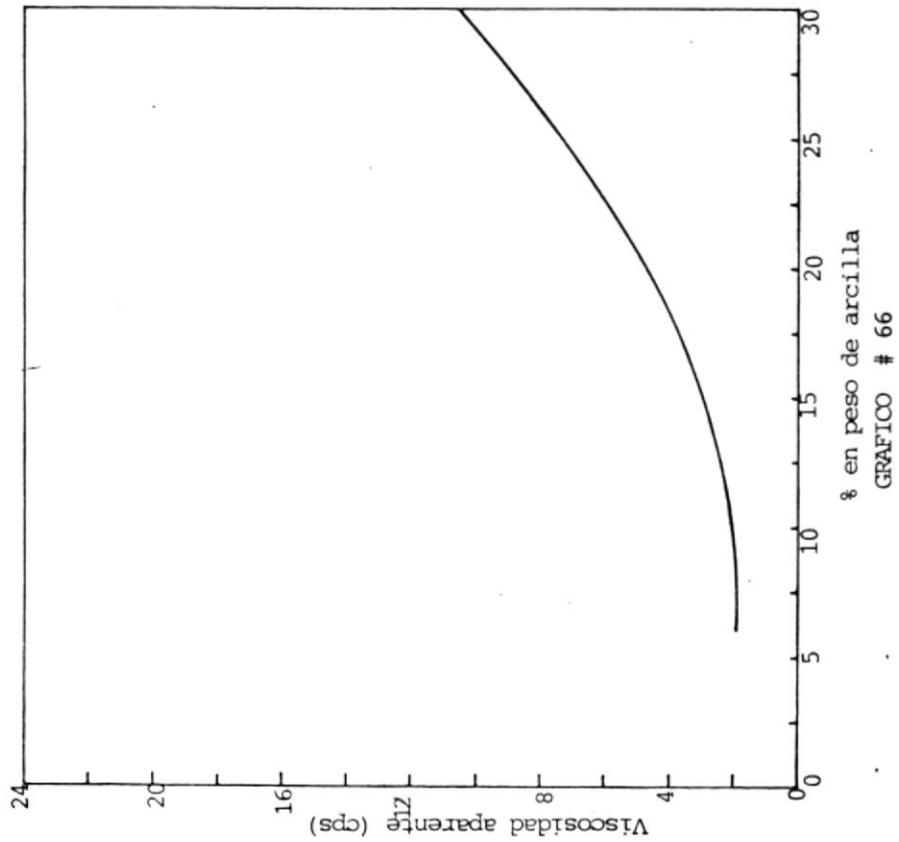
GRAFICO # 64



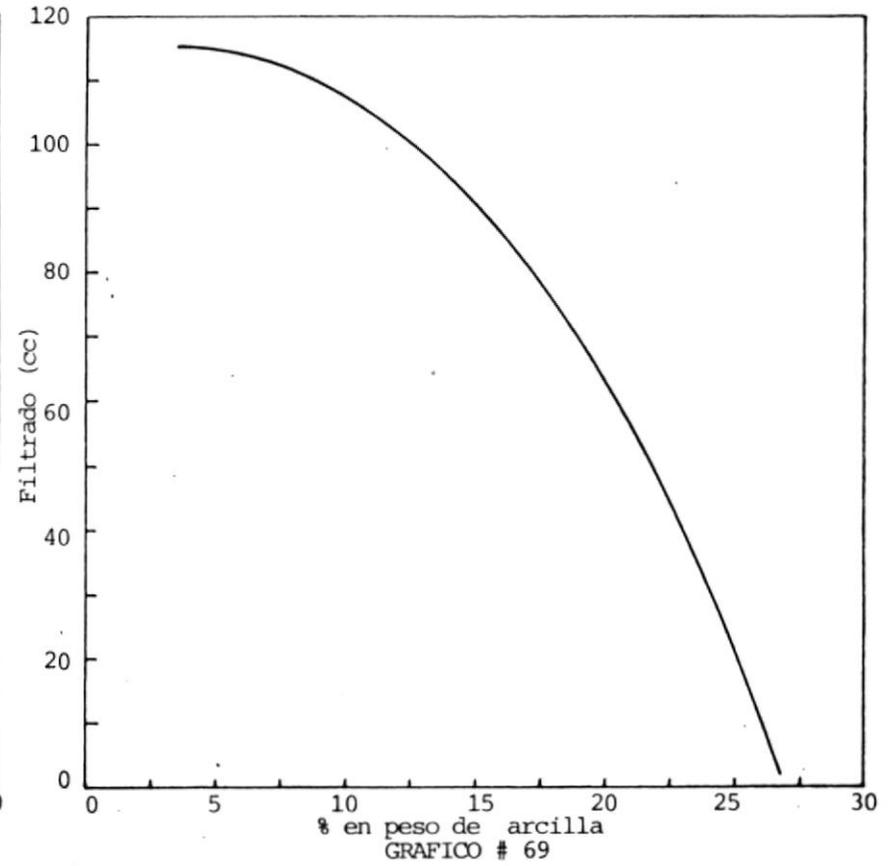
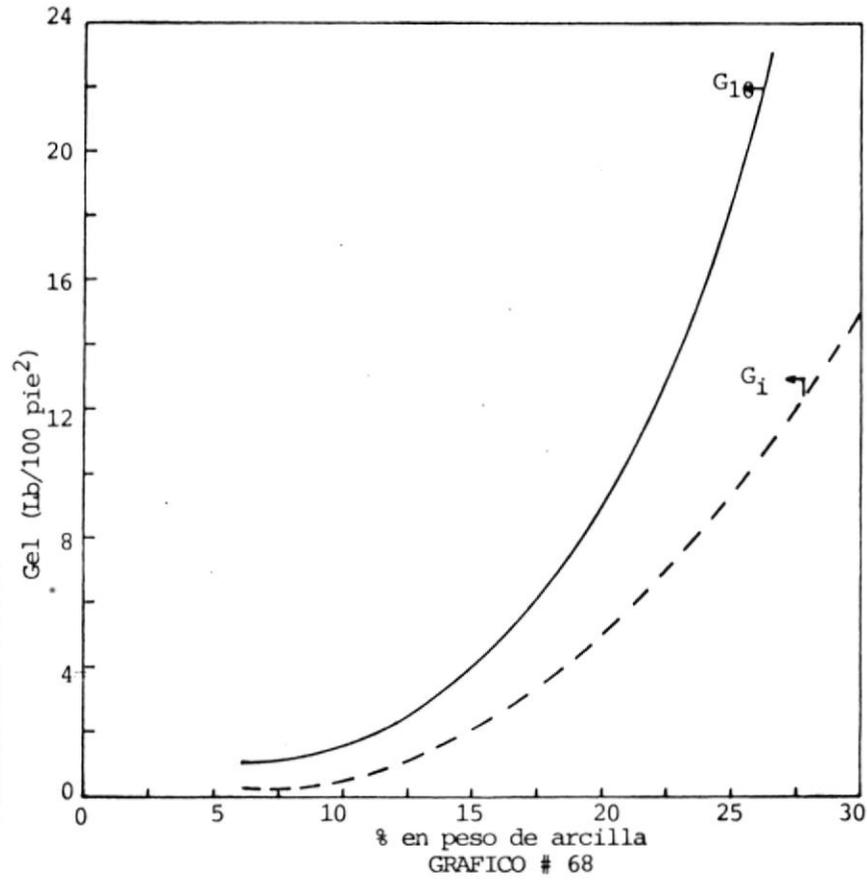
Viscosidad aparente (cps)

GRAFICO # 65

LODO BASE AGUA
MUESTRA N° 7



LODO BASE AGUA
MUESTRA N° 7



LODO BASE AGUA
MUESTRA N° 7

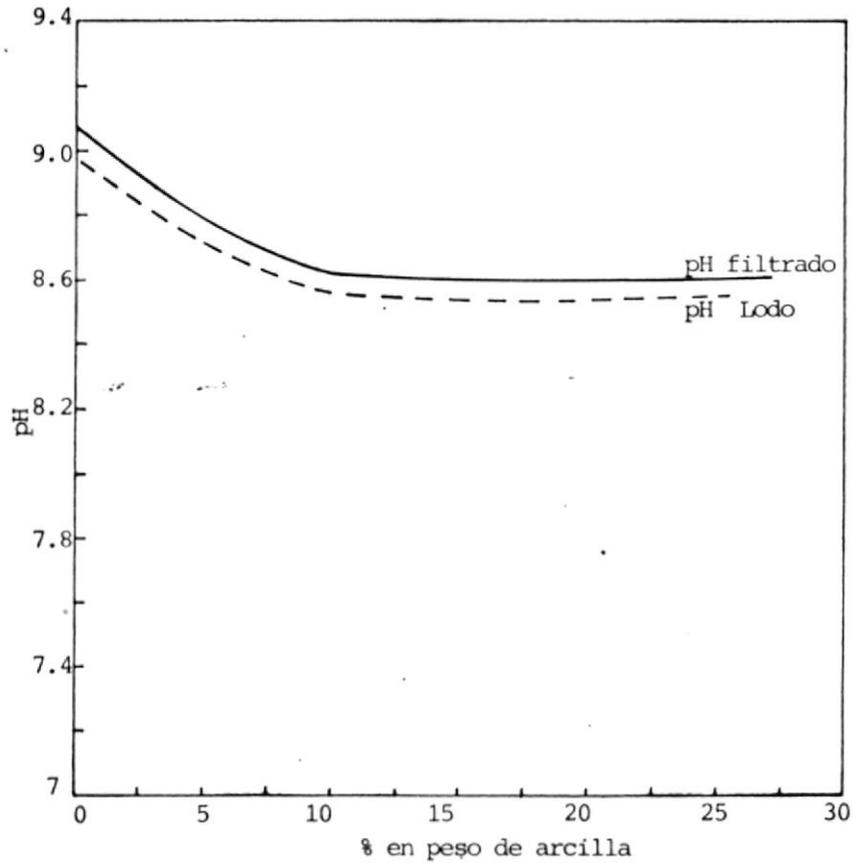


GRAFICO # 70

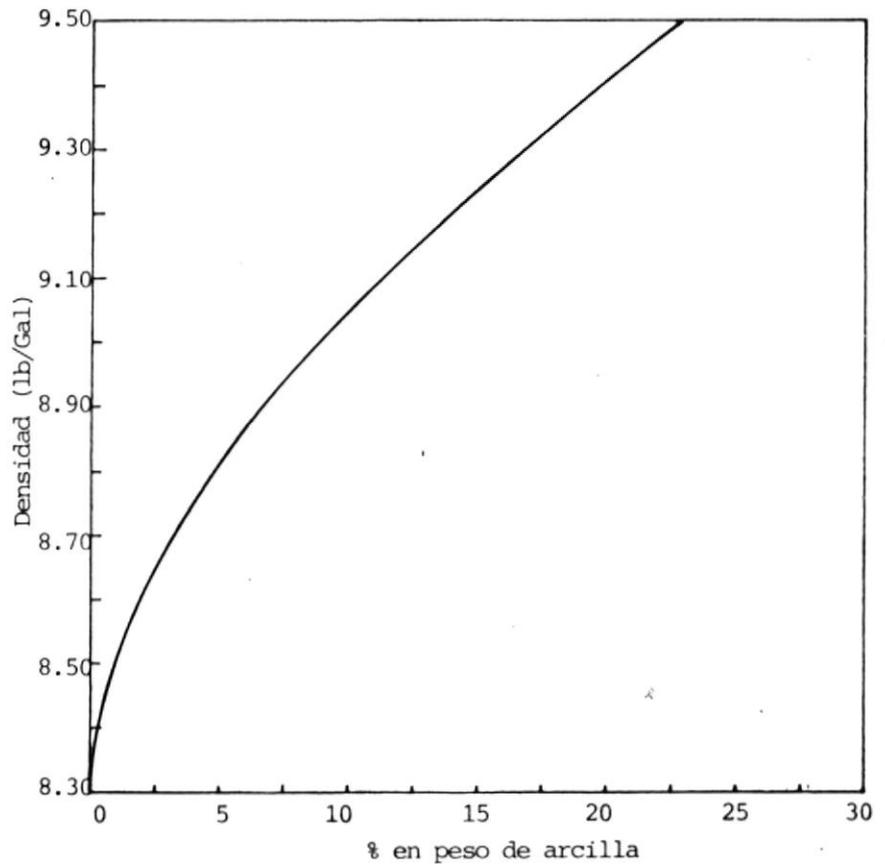
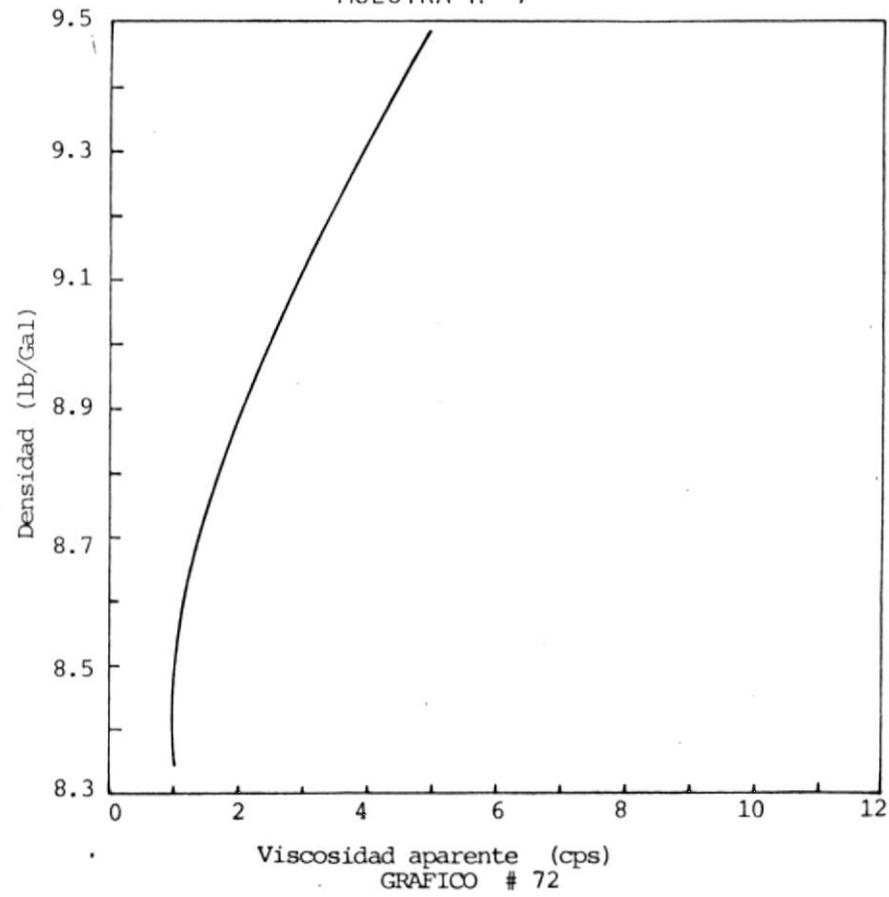


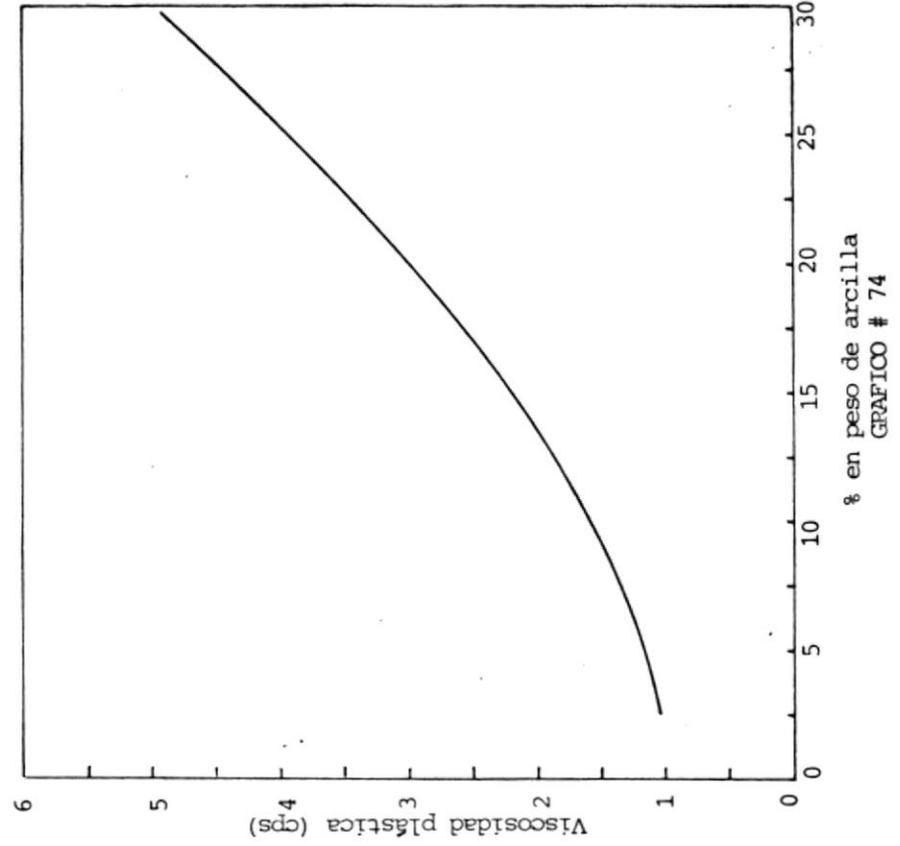
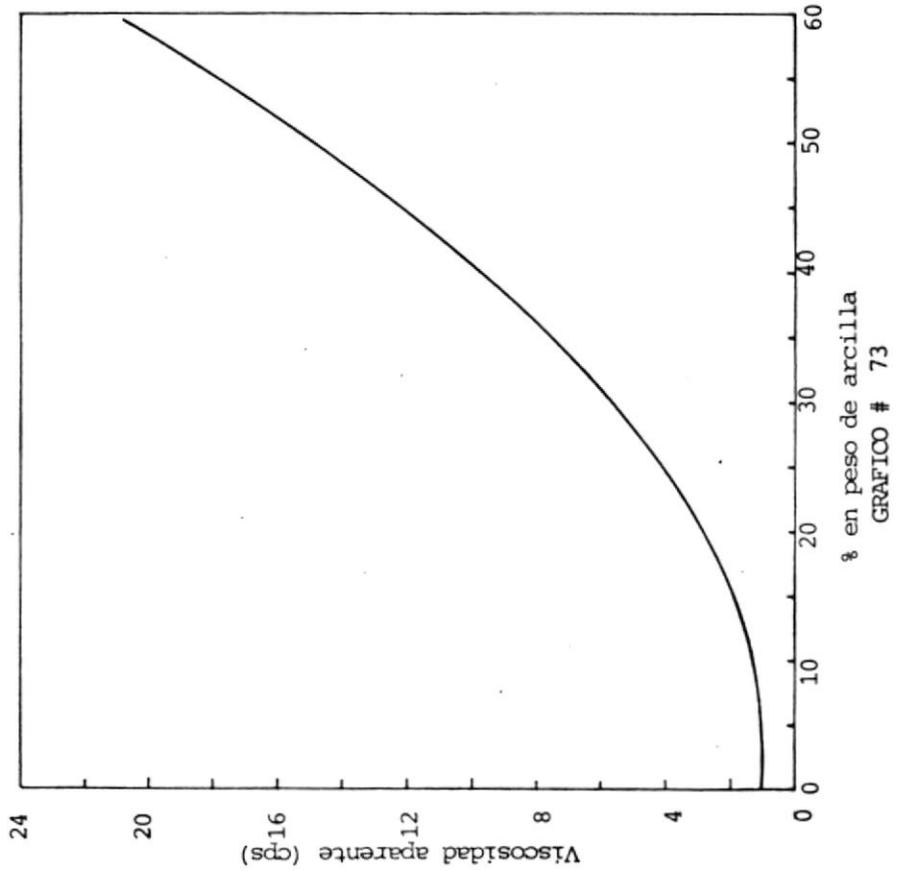
GRAFICO # 71

LODO BASE AGUA
MUESTRA N° 7

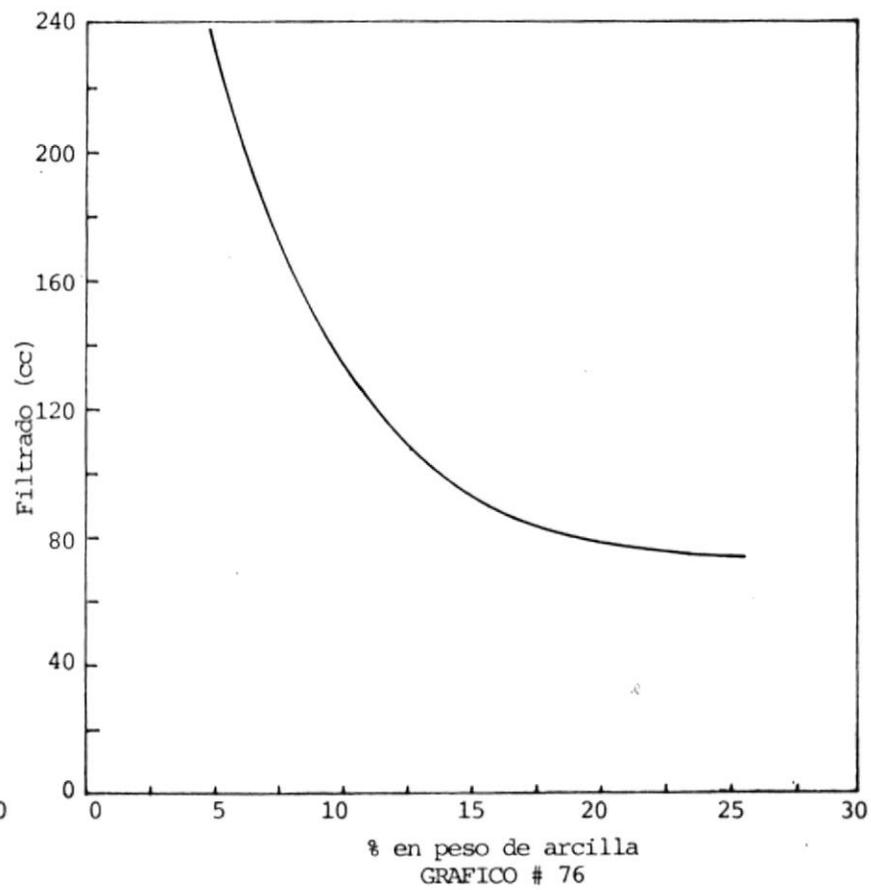
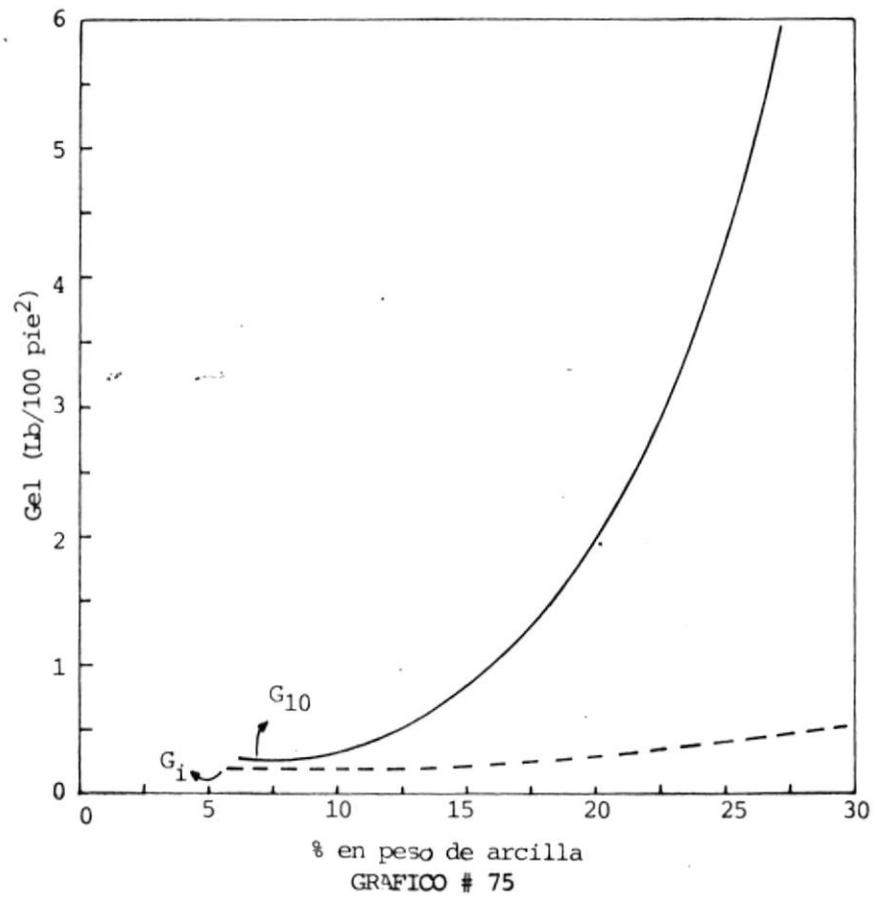


Viscosidad aparente (cps)
GRAFICO # 72

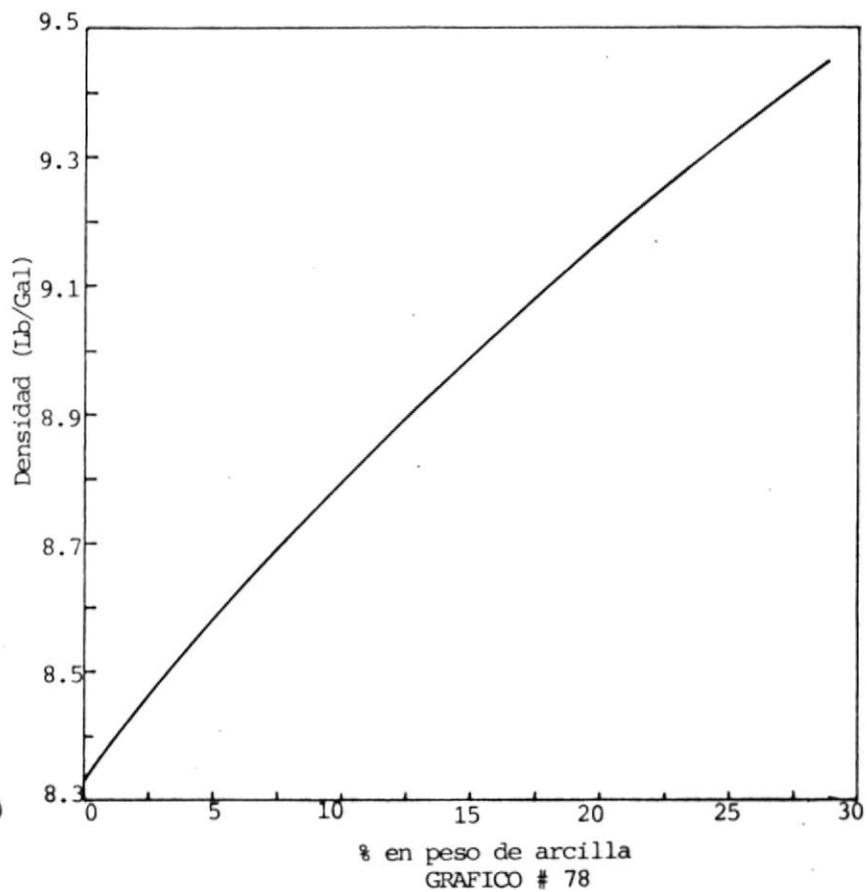
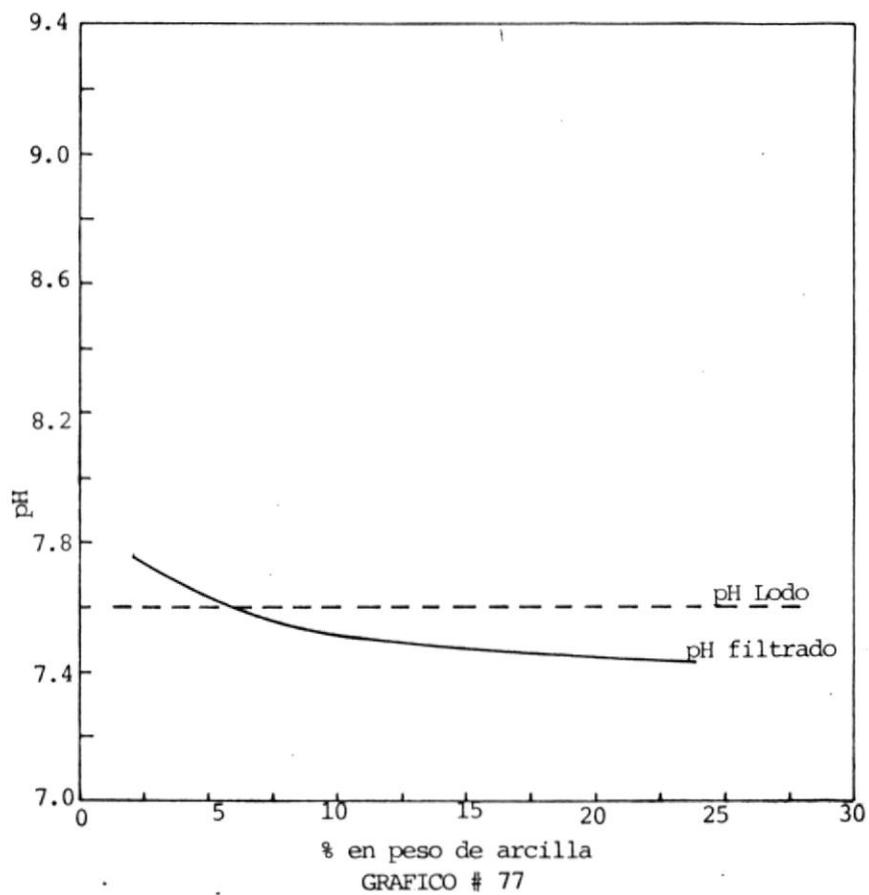
LODO BASE AGUA
MUESTRA N° 7 + BICARBONATO DE SODIO AL 6%



LODO BASE AGUA
MUESTRA N° 7 + BICARBONATO DE SODIO AL 6%



LODO BASE AGUA
MUESTRA N° 7+ BICARBONATO DE SODIO AL 6%



LODO BASE AGUA.
MUESTRA N° 7 + BICARBONATO DE SODIO AL 6%

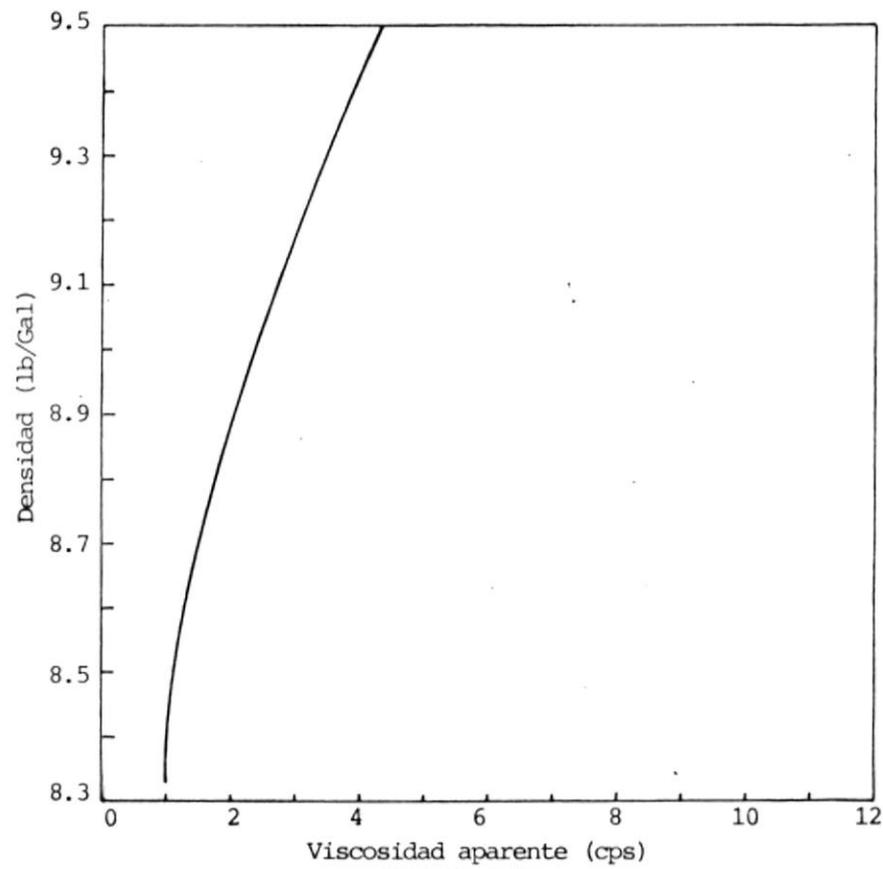


GRAFICO # 79

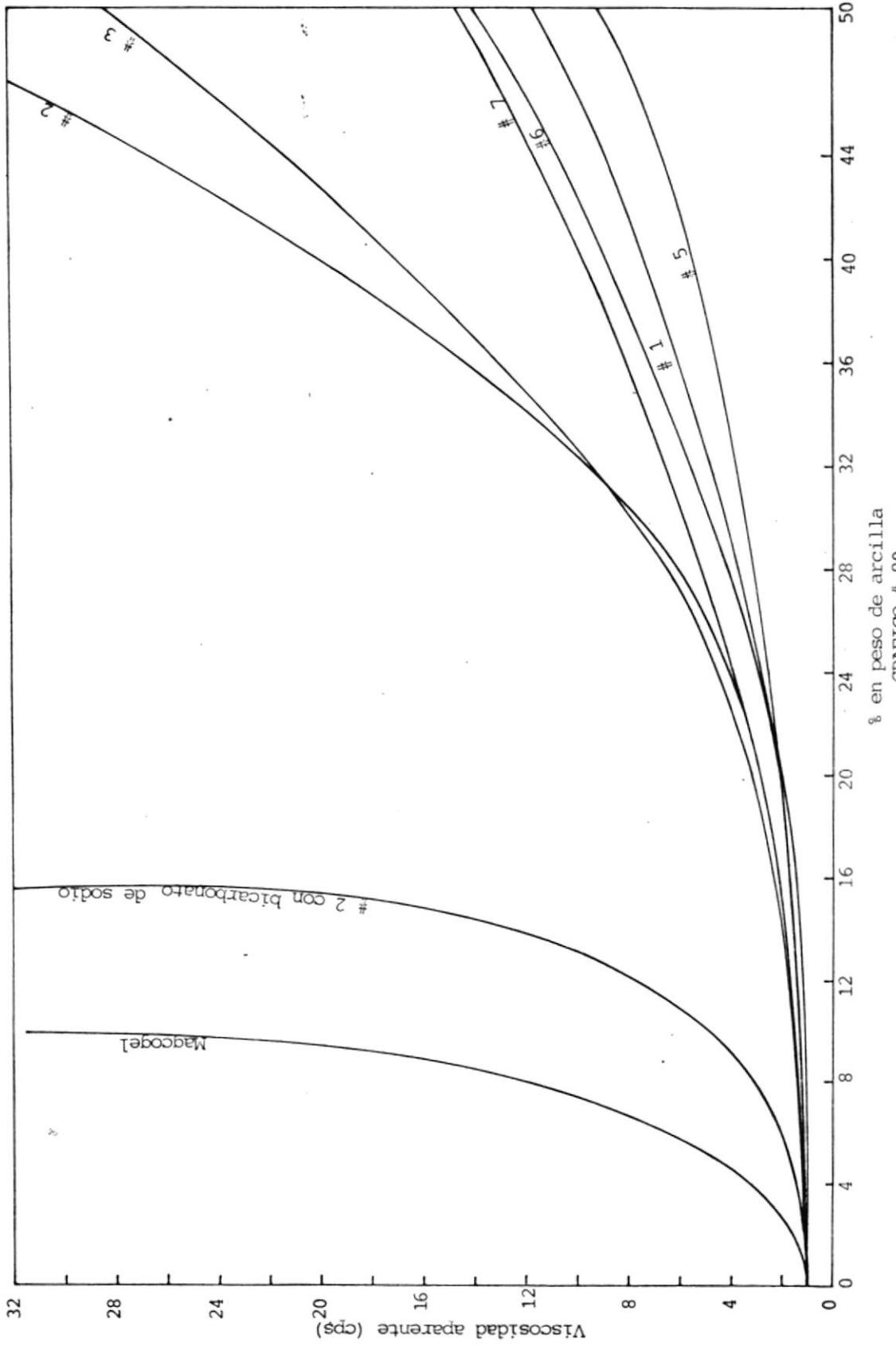


Gráfico de Comparación de Rendimiento de las diversas arcillas estudiadas
 GRAFICO # 80

BIBLIOGRAFIA

1. BAROID DIVISION NL INDUSTRIES, Inc. Apparatus and Procedure for the Field testing of Drilling Muds. Houston, Texas. 1975
2. BURKE W.H. Some Factors affecting the Viscosity of Rotary Muds. AIME trans 1935, pag. 53-61.
3. BOBO, R.A. and R.S. HOCH. Mechanical Treatment of Weighted Drilling Muds. AIME Trans 1954, pag. 93-96.
4. BROUGHTON AND HAND. Viscosity Characteristics of Clay in Connection with Drilling Mud. Pet. Techn. Nov. 1938, pag. 1002.
5. COELLO CUNTO, H. El Lodo como Fluído de Perforación. Tesis de Grado. 1974.
6. CARDOZO, N.G. Normas para la Manipulación del equipo de Laboratorio, Maracaibo. Nov. 1967.
7. ECHEVERRIA, M.R. MUÑOZ, J. Estudio Tecnológico de las Bentonitas Españolas Tecniterrae, Febrero-Marzo 1971, 32-41.
8. GATLIN CARL. Drilling and Well Completions. Chapter 6, pag. 70-93.
9. GARRISON, A.D. Surface Chemistry of Clays and Shales AIME Trans. 1939 pg. 191-204.
10. GARRISON, and TEN BRINK. A study of some phase of Chemical Control in Clay Suspensions. AIME Trans. 1940. Pag. 175-194.
11. GARRISON, TEN BRINK and P.B. ELKIN. Dispersion of Clay and Shales by Fluid Motion AIME Trans. 1939. pg. 195-205.
12. GROSS H.E. Intensive Weighting of Petroleum Drilling Muds with Galena. AIME Trans. 1938 p. 263-273.
13. HERTEL, F.W. and EDSON. Drilling Mud Practice in the Ventura Avenue Field. AIME Trans. 1930 pag. 382-391.
14. HALL, THOMPSON and NUSS. Ability of Drilling Mud to Cift - Bit Cuttings AIME trans 1950 pag. 35-37.

15. HEGGEN A.G. and POLLARD, J.A. Drilling Wells in Oklahoma by the Mud Laden Fluid Method, vs BM, T.P. 68, 1914.
16. INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO. Norma de Calidad de Bentonita. Departamento de Perforación. IMP-DPF-2/67.
17. LEWIS, W.K., SQUIRES L. and THOMPSON. Colloidal Properties of Clay Suspensions AIME Trans. 1935. pag. 38-52.
18. LEWIS, J.O. and Mc MURRAY, W.F. The use of Mud Laden Fluid in Oil and Gas Wells vs BM, Bull 134, 1916.
19. LOOMIS, A.G. Colloid Chemistry of Clay Drilling Fluid AIME Trans. 1941, pag. 86-99.
20. MURRAY and CUNNINGHAM. Effect of Mud Column Pressure on Drilling Rates AIME trans. 1955, pag. 196-204.
21. Mc CRAY & COLE. Tecnología de la Perforación de Pozos Petrolíferos, Marzo 1970.
22. MAGCOBAR. Mud Engineering - Houston. Agosto 1968
23. NUÑEZ DEL ARCO, E. Estudio Geológico Minero de las Arcillas en la Region Azuay-Cañar. Tesis de Grado.
24. PETROLEUM EXTENSION SERVICE. Fundamentos de Perforación Tomo 1.
25. REED, C.E. Recent Advances in Knowledge of the Colloidal Properties of Clay Suspensions and Gel, AIME Trans. 1938, pag. 240 - 262.
26. ROSAS NAVARRO, E. Traducción de "Mud Engineering". Agosto 1964.
27. ROGERS, W.F. Composition and Properties of oil Well Drilling Fluids, 3ª Edition. Gulf Publishing Co. Houston, Texas, 1963.
28. ROSS, C.S. and SHANNON, E.V. "The Minerals of Bentonite and Related clays and their Physical Properties". J.Am. Cer. Soc., V.9, 1926.

29. SCHREMP AND V.L. JOHNSON. Drilling Fluid Filter Loss at High Temperatures and Pressures, AIME Trans. 1952 pag. 157-162.
30. STRONG, M.W. Mud Technique in Iran, AIME Trans, 1939, pag. 11-21.
31. WHERRY, E.T. "Clay Derived from Volcanic Dust in the Pierre of S. Dakota". J. Wash, Ac. Sci. V. 7. 1917.
32. HEWETT, D.F. The origin of Bentonite and Related Materials in Wyoming" J. Wash Ac. Sci. V. 7, 1917.
33. ZABA, J. and DOHERTY W.T. Practical Petroleum Engineers! Hand-Book Fifth Edition, Gulf Publishing Company Houston, Texas. 1970.