

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

---

**Facultad de Petróleo**

**“EL LABORATORIO DE LODOS DE PERFORACION”**

**TESIS DE BACHILLER**

**LUIS RAUL ARCE SIPAN**

**LIMA - PERU**

**1966**

*Ami novia  
Carolina*

## I N D I C E

- I .- Introducción: Funciones y Composición del Lodo**
  
- II.- Instrumentos API para el Laboratorio de Lodos**
  - a - Equipo para determinar la densidad**
  - b - Equipo para determinar la viscosidad y gel**
  - c - Equipo para determinar la filtración**
  - d - Determinación del contenido de arena**
  - e - Determinación de sólidos y líquidos en lodos a base de aceite.**
  - f - Determinación de sólidos y líquidos en lodos a base de agua.**
  - g - Determinación del pH ✓**
  - h - Determinación del contenido de sodio y calcio**
  - i - Determinación del rendimiento de arcillas**

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

### Funciones y Composición del Lodo de Perforación

El fluido de perforación, originalmente considerado solo como un vehículo de transporte de los cortes a la superficie en la perforación rotativa, es hoy reconocido como uno de los factores primordiales que permite realizar exitosamente las operaciones de perforación.

El uso de un determinado fluido de perforación incide directamente en la velocidad, eficiencia y costo de la perforación. El término fluido de perforación, no solo incluye líquidos sino también gases así como suspensiones de líquido y sólidos en líquidos.

Funciones del Lodo de Perforación.- Entre las principales se tienen las siguientes:

a.- Mantener el hueco libre de cortes.- Función preponderante del fluido de perforación es sacar los cortes del hueco durante la perforación. También debido a sus propiedades tixotrópicas, puede el lodo mantener en suspensión los cortes si se detiene la circulación para realizar algún servicio en el hueco.

La habilidad para transportar los cortes a la superficie depende en parte de la velocidad con que el fluido se desplaza en el espacio anular entre la tubería de perforar y

el hueco.

La capacidad de la bomba es también una consideración que hay que tener muy en cuenta. Se sabe que si la capacidad de la bomba es tal que la velocidad anular del lodo es demasiado baja para arrastrar los cortes adecuadamente, este aumentará su viscosidad en tal forma que se limitará la extracción de los cortes o detritus.

b.- Impedir reventones.- La presión hidrostática ejercida por la columna de lodo es tal que previene cualquier flujo súbito de agua, gas o petróleo al perforarse una formación petrolífera.

Es por esto que la densidad del lodo es de suma importancia para evitar que sucedan estos tipos de accidentes. También hay que tener en cuenta las características de gelificación del lodo.

c.- Prevenir los derrumbes.- La cabeza hidrostática o presión de la columna de lodo ejercida sobre las paredes del hueco evita que sucedan derrumbes. Otro factor es la costra que forma el lodo en la pared del hueco a manera de un entubado. Los derrumbes en formaciones lutáceas pueden disminuir usándose lodos de baja filtración.

d.- Enfriar la broca y lubricar la garta.- Debido a la gran temperatura que desarrolla la broca, sino fuera enfríada en

alguna forma, su duración se reduciría enormemente; esta función la cumple el lodo, el cual además, sirve como lubricante de la sarta de perforación. Es por esto que algunas veces se usan lodos emulsionados, emulsionantes especiales y lubricantes de extrema presión para tener una buena lubricación de la broca y de la sarta.

e.- Evitar la formación de cavidades.- La formación de cavidades es debido al desprendimiento de las lutitas al ser hidratadas. Formaciones de tipo de camas verticales, capas, etc., pueden ser propensas a romperse y caer en el hueco, debido a la existencia de una diferencia grande de presiones o densidades entre la formación y el fluido de perforación. En tales casos el peso del lodo debe ser aumentado de una a varias libras por galón. Las propiedades de gelificación deben ser incrementadas para desarrollar un efecto plástico más fuerte sobre la cara de las secciones derrumbadas; también puede solucionarse reduciendo la pérdida de fluido.

f.- Contaminación de los productos de la formación.- Este es uno de los problemas que ha recibido más atención. A pesar de que no se deberían usar lodos que reaccionaran con la formación disminuyendo su capacidad de producción, esto, no se puede evitar; porque en caso de usar lodos i-

nertes, estos tambien tienen sus problemas. En general, los lodos de tipo inerte dan completaciones satisfactorias particularmente en formaciones de alta permeabilidad, como por ejemplo de 100 a 150 md.

Las formaciones delgadas son más susceptibles de ser tapadas cuando se usa lodos inertes. Se ha encontrado que lodos a base de petroleo o emulsiones inversas se han podido usar en algunos casos con resultados favorables; aunque su uso depende de la experiencia que se tenga en este tipo de operaciones.

Además de las funciones mencionadas anteriormente el lodo debe cumplir con otros requisitos. El objetivo de la perforación del terreno es la obtención de petroleo o gas, por consiguiente el lodo debe permitir la obtención de la información necesaria para evaluar las posibilidades productivas de la formación perforada.

Es por esto que las características del lodo deben ser tales que permitan la obtención de buenos cortes, cores y registros eléctricos. Durante las operaciones de perforación el lodo debe ofrecer el máximo de seguridad para no causar algún daño a la formación.

Composición del Lodo de Perforación. - La gran mayoría de los lodos pueden clasificarse como lodos a base de agua y

consta de tres partes principales: (1) fase líquida o agua, (2) fracción coloidal, que es la porción reactiva, -- (3) fracción inerte, que consiste de material pesado y otros sólidos inertes (no reaccionantes).

Los lodos de emulsión de petróleo son simplemente lodos de base agua a los cuales se les ha agregado una parte de petróleo, y el tratamiento de estos lodos es el mismo que el requerido por el lodo base.

La mayor parte del control del lodo es efectuada sobre la fracción coloidal, esta es enriquecida con la adición de bentonitas y arcillas y es mejorada por tratamientos químicos o, dañada por contaminación.

La composición de un lodo de perforación depende de los requerimientos de una operación de perforación determinada. Debe tenerse en cuenta al realizarse la perforación que se perforaran diferentes tipos de formación por lo que hay -- que tener la precaución de usar un lodo de óptimas características. En algunas areas puede iniciarse la perforación usando agua, y a medida que se progresa en la perforación, las arcillas y lutitas que se elevan de la formación se dispersarán en el agua obteniéndose un lodo bastante bueno. En otras areas pueden hallarse calizas, arenas o lutitas que no forman lodo en contacto con el agua, en tales casos es necesario agregarles arcillas (bentonita) la cual cumple un doble propósito: (a) imparte viscosidad al fluido --



de perforación, (b) de buenas propiedades de filtración.

### EQUIPO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD

En primer lugar veamos que es la Densidad, se le define como el peso por unidad de volumen, de un sólido o de un líquido. La densidad puede expresarse en las unidades que le sean conveniente al laboratorio, tales como lb/gal, lb/ft<sup>3</sup> psi/1000' o en gravedad específica. La expresión de la densidad es:  $Densidad = \text{Peso} / \text{Volumen}$  ; para trabajos precisos se mide la densidad a una determinada temperatura.

- ⇒ La densidad expresada en psi/1000' es bastante útil, ya que permite calcular la cabeza hidrostática de la columna de lodo para una profundidad dada así como la presión de la bomba y la presión del fluido en la formación. Esto facilita el control para contrarrestar la presión de la formación o la pérdida de circulación.
- Como la gravedad específica se utiliza a menudo es conveniente dar su definición, se dice que es el peso de una sustancia con relación a igual volumen de agua. Puede expresarse así:  $Gr. Sp. = \text{Densidad sustancia} / \text{Densidad agua}$   
Cuando una sustancia es medida con respecto a 1 cc de volumen, la densidad y la gravedad específica tienen el mismo valor. Así por ejemplo para el Hg su densidad es 13.6gr/cc y su Gr Sp es 13.6 .A continuación una tabla con las diversas formas como se expresa la densidad.

<u>Lb/gal</u>	<u>Lb/pi<sup>3</sup></u>	<u>Gr. Sp.</u>	<u>Psi/1000'</u>
7.5	56.0	0.90	399
8.0	59.8	0.96	416
8.3	62.4	1.00	433
8.5	63.4	1.02	442
9.0	67.5	1.08	468
9.5	71.1	1.14	494
10.0	75.0	1.20	520
10.5	78.5	1.26	546
11.0	82.5	1.32	572
11.5	86.0	1.38	598
12.0	90.0	1.44	624
12.5	93.6	1.50	650
13.0	97.5	1.56	676
13.5	101.0	1.62	702
14.0	105.0	1.68	728
14.5	108.5	1.74	754
15.0	112.3	1.80	780
15.5	115.9	1.86	806
16.0	120.0	1.92	832
16.5	123.4	1.98	858
17.0	127.5	2.04	884
17.5	130.9	2.10	910
18.0	135.0	2.16	935
18.5	138.3	2.22	961
19.0	142.1	2.28	987
19.5	145.8	2.34	1,013
20.0	149.6	2.39	1,035

---

### LA BALANZA DE LODO

Como puede verse en la fig. 1, estas balanzas son del tipo brazo de balanza (beam-type) y consisten de una base de sustentación, una copa metálica, una tapa para la copa y un brazo graduado que lleva un peso deslizable.

La determinación de la densidad se hace de la siguiente manera:

- 1.- Llenar la copa con el lodo a ser pesado.
- 2.- Poner la tapa sobre la copa y sentarla firmemente pero en forma lenta y dándole un movimiento de rotación. El exceso de lodo será expelido por un pequeño agujero de la tapa y se adherirá al exterior del instrumento - por lo que hay que limpiarlo bien o lavarlo.
- 3.- Luego de poner el brazo en forma conveniente en la base y deslizar el peso a través del brazo hasta que este quede equilibrado.
- 4.- Leer la densidad hallada la cual puede expresarse en - lb/gal, lb/ft<sup>3</sup>, Gr. Sp. o psi/1000'.

Hay que lavar la copa inmediatamente después de usar la balanza. Es muy importante que todas las partes de la balanza permanescan limpias para obtener resultados precisos.

Calibración de la balanza. - Antes de usar la balanza hay que constatar si esta calibrada, si no lo estuviera, se le

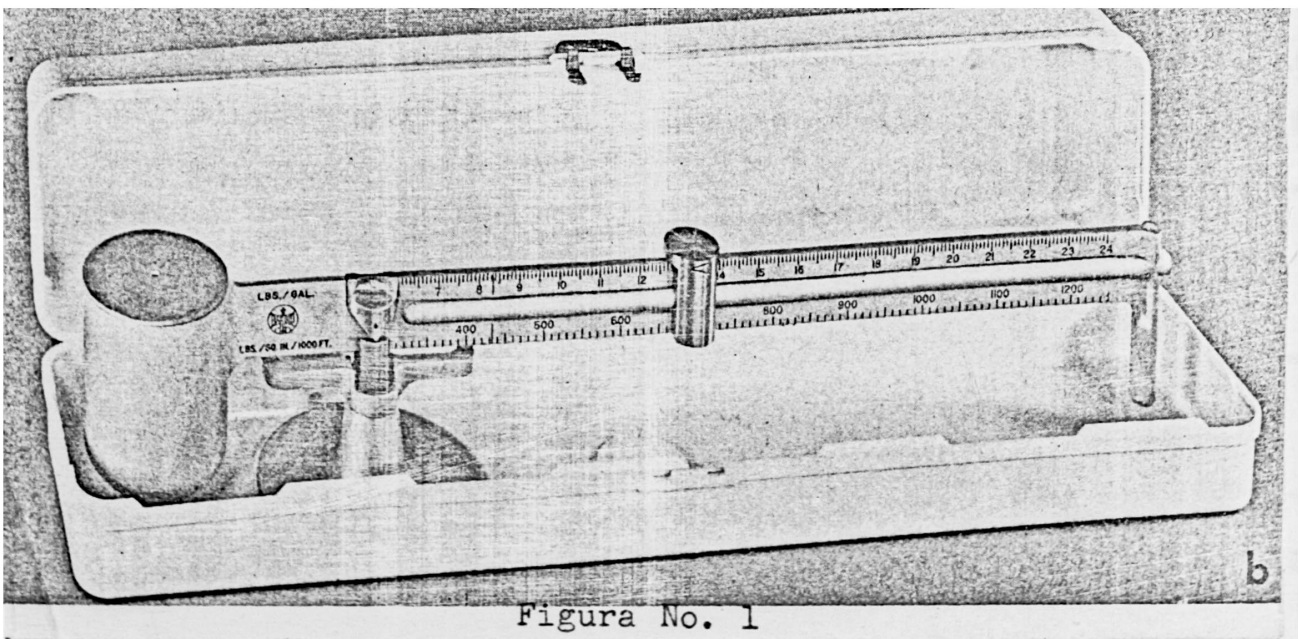
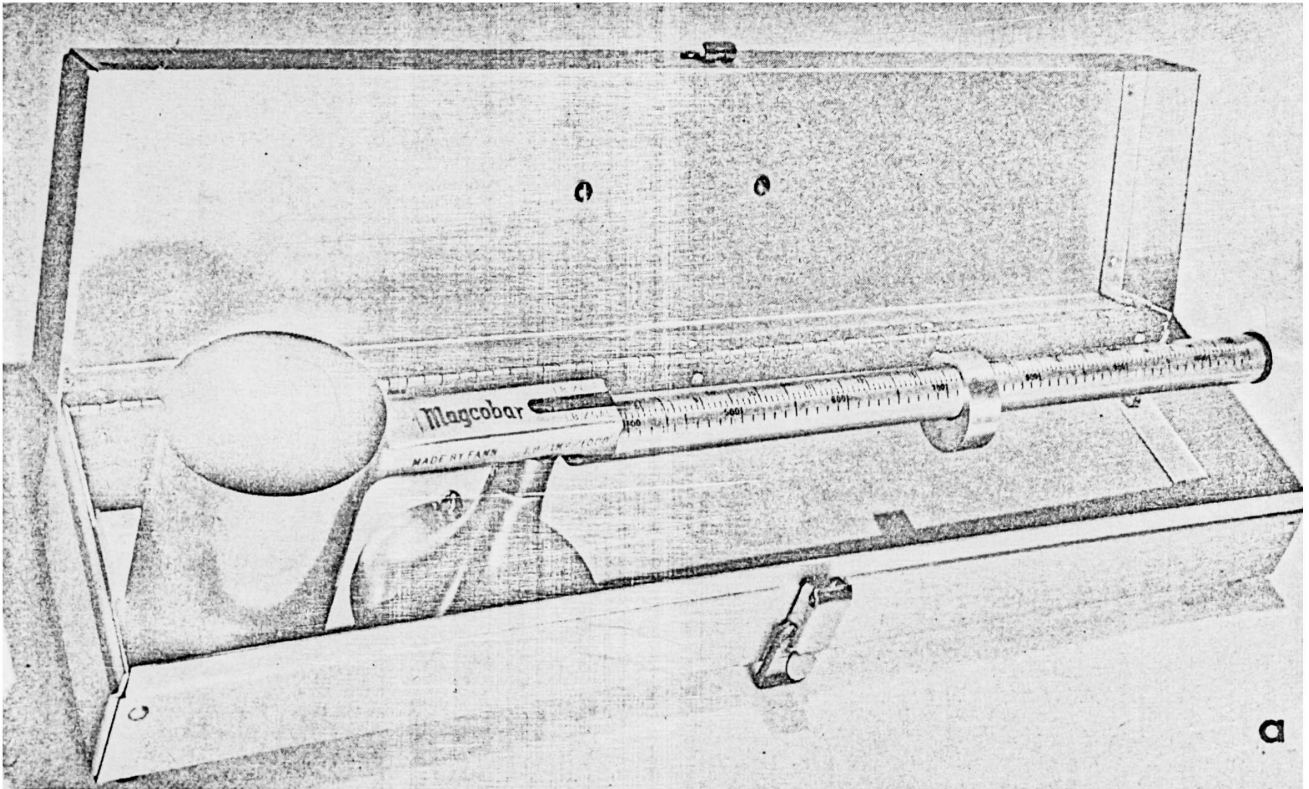


Figura No. 1

calibra de la siguiente manera:

- 1.- Llenar la copa con agua pura.
  - 2.- Poner la tapa y secar lo rebalsado.
  - 3.- Poner la pesa deslizable en 8.33 lbs/gal.
  - 4.- Si el peso y la copa no están equilibrados, adicione o quite balines de plomo tanto como se requiera, o ajuste el tornillo de calibración al final del brazo. Los balines pueden ser aumentados o disminuidos por remoción del tornillo en la cámara que los contiene, al final del brazo graduado.
  - 5.- Si al leer el valor obtenido da menor de 8.33 Lbs/gal se deberá sumar la misma diferencia al peso del lodo al realizarse la prueba. Del mismo modo, si la lectura con la copa llena de agua da mayor de 8.33 lbs/gal, se restará la diferencia al pesar un lodo dado.
- Por ejemplo, si se tiene que el agua pesa 8.1 lbs/gal, se observa que es 0.2 menor que su valor normal; si se pesa un lodo y da 10.8 lbs/gal, este peso también es menor que su valor real que es 11.0 lbs/gal.

Es importante señalar que se presentan dos problemas prácticos con respecto al peso del lodo, a saber:

- a.- Cantidad de material necesario para aumentar el peso de un lodo con incremento de volumen.- Se requieren -- de los siguientes datos:

Datos	<u>Unidades de Campo</u>	<u>Unidades de Labor.</u>
W = Peso inicial del lodo 1.	lbs/gal	gr/cc (G <sub>1</sub> )
W = Peso final del lodo 2.	lbs/gal	gr/cc (G <sub>2</sub> )
W = Peso añadido 3.	lbs	grs
V = Volumen original 1.	100 bbl	100 cc
V = Volumen final 2.	bbls	cc
V = Volumen del material añadido 3.	bbls	cc
G = Gravedad específica del material añadido 3.		
Peso de un barril de agua: 350 lbs		
Volumen de un barril: 42 gal		

a) Utilizando unidades de campo.-

Tomando como base 100 bbls de lodo y haciendo un balance de materiales, se tiene:

$$42 V_1 W_1 + W_3 = 42 V_2 W_2 \dots\dots\dots (1)$$

$$V_3 = W_3 / 350 G_3 \dots\dots\dots (2)$$

$$V_2 = V_1 + V_3 = V_1 + W_3 / 350 G_3 \dots\dots\dots (3)$$

Sustituyendo (3) en (1) se tendrá:

$$42 V_1 W_1 + W_3 = 42 W_2 (V_1 + W_3 / 350 G_3)$$

De donde despejando se obtiene W<sub>3</sub> en sacos de 100 lbs.

$$W_3 = 42(W_2 - W_1) / (1 - 0.12 W_2 / G_3) \dots\dots\dots ///$$

Problema.-

Se desea aumentar el peso de 100 lbs. de lodo de 10.5 lb/g a 14 lbs/gal, usando sulfato de bario de gravedad específica 4.25.

Aplicando la fórmula para hallar  $W_3$  se tiene:

$$W_3 = 42 (14.0 - 10.5) / (1 - 0.12 \times 14 / 4.25) = 243 \text{ sacos}$$

El volumen del material añadido será:

$$V_3 = (243 \times 100) / (350 \times 4.25) = 16.4 \text{ bbls.}$$

O sea que para aumentar la densidad de un lodo de 10.5 lb/g a 14 lb/gal se requieren 243 sacos de sulfato de bario o lo que es lo mismo 16.4 bbls.

b) Utilizando unidades de laboratorio.

Se toman como base 100 cc de lodos, debe notarse que en el sistema métrico la densidad y la gravedad específica tienen el mismo valor absoluto. Igualmente como en el caso anterior, haciendo un balance de materiales se tiene:

$$V_1 \cdot G_1 + W_3 = V_2 \cdot G_2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$V_3 = W_3 / G_3 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$V_2 = V_1 + V_3 = V_1 + W_3 / G_3 \quad \dots\dots\dots (3)$$

Sustituyendo (3) en (1) se obtiene:

$$W_3 - V_1 \cdot G_1 = V_1 \cdot G_2 - W_3 \cdot G_2 / G_3$$

Desde que  $V_1$  es dato y es igual a 100 cc y efectuando operaciones: Se obtiene  $W_3$  en gramos.

$$W_3 = 100 (G_2 - G_1) / (1 - G_2 / G_3) \quad \text{///}$$

**Problema.-**

Hallar el peso del material de gravedad específica ( $G_3$ ) igual a 4.25, necesario para aumentar el peso de 100 cc de lodo de 10.5 lb/gal a 14 Lbs/ gal.

En primer lugar hay que hallar las gravedades específicas:

$$G_1 = 10.5/8.33 = 1.26$$

$$G_2 = 14.0/8.33 = 1.68$$

Reemplazando estos valores en la fórmula y resolviendo:

$$W_3 = 100 (1.68 - 1.26)/(1 - 1.68/4.25) = 69.4 \text{ gra.}$$

- - - - - o - - - - -

**DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD Y GELIFICACION**

El desarrollo adecuado de instrumentos para la medida de la viscosidad y gel de los lodos de perforación ha sido el resultado de muchos esfuerzos. Esto se debió principalmente a que la propiedad principal de los fluidos de perforación es su tixotropía (que es la propiedad que tienen algunos fluidos de gelatinarse con el tiempo al dejar de circular, pero al ponerlos en circulación nuevamente adquieren su estado de fluidos) y la característica de la viscosidad de tales fluidos es que no puede ser determinada por una simple medida.

En el campo, la medida de la viscosidad se hace por medio del embudo Marsh, método en el cual se mide el tiempo que



demora en fluir determinada cantidad de lodo por el embudo. A los valores así obtenidos se les denomina viscosidad aparente. Los viscosímetros de lectura directa miden la viscosidad cinemática, pero siendo instrumentos que tienen varias velocidades de rotación, dan mejores datos sobre las propiedades del lodo. Para a partir de estos valores hallar sus viscosidades se hacen uso de las siguientes fórmulas:

$$\mu_{aF} = \frac{1}{2} \rho_{600}$$

$$\mu_p = \rho_{600} - \rho_{300}$$

$$Y_b = \rho_{300} - \mu_p$$

$$Y_c = \frac{3}{4} Y_b$$

#### Nomenclatura:

$\mu_{aF}$  = viscosidad aparente en centipoises

$\mu_p$  = viscosidad plástica en centipoises

$Y_b$  = punto de cendencia Bingham en lbs/100 ft<sup>2</sup>

$Y_c$  = punto de cendencia verdadero en lbs/100 ft<sup>2</sup>

La viscosidad plástica es esa parte de la resistencia del flujo en el lodo, causada principalmente por la fricción entre las partículas suspendidas y por la viscosidad de la fase líquida continua. Para objetivos prácticos, la viscosidad depende de la concentración de los sólidos presentes y del tamaño y forma de estas partículas.

El punto de cedencia es la medida, bajo condiciones de flujo, de ciertas fuerzas que existen entre las partículas, luego de que el fluido ha sido puesto en reposo y desarrollado su gelificación. Estas fuerzas son el resultado de las cargas eléctricas positiva y negativa localizadas en o cerca de la superficie de las partículas.

Las fuerzas tienden a mover las partículas sólidas y colocarlas en un arreglo tal que las fuerzas de atracción y repulsión se equilibren. La medida del gel es una indicación de estas fuerzas bajo condiciones de reposo.

Una variación en la viscosidad plástica de un lodo causará pequeñas variaciones en el punto de cedencia. La adición de agua puede causar la disminución de la viscosidad plástica, mientras que la adición de una sustancia química dispersante causará una disminución del punto de cedencia.

- - - o - - -

#### EMBUDO MARSH

El embudo Marsh, ver figura 2, tiene 6 pulgadas de diámetro en su parte superior, 12 pulgadas de longitud y en la parte inferior un tubo de dos pulgadas de longitud y 3/16 pulgadas de diámetro interno. La capacidad del embudo es de 1,500 cc.

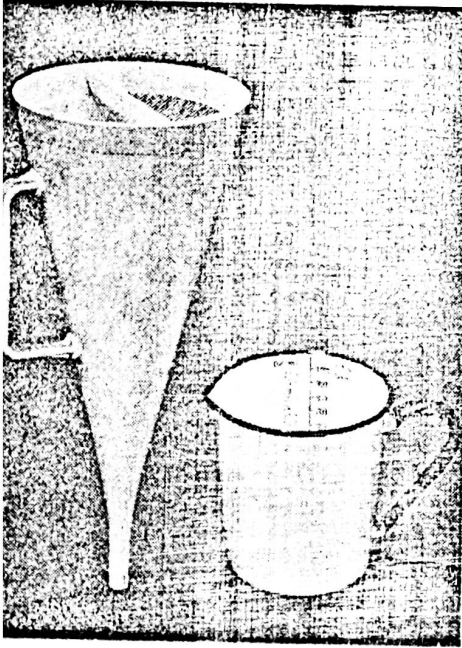
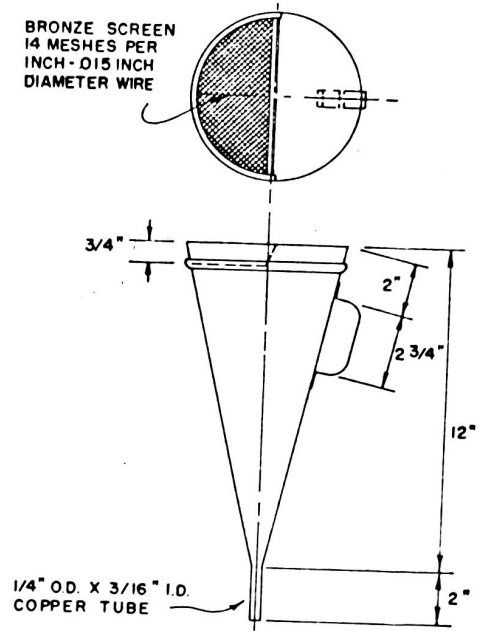


FIGURA 2



El procedimiento a seguir, para realizar esta prueba es el siguiente:

- 1.- Se cubre el agujero inferior con un dedo y se echa lodo a través de la malla hasta que el nivel inferior alcance la parte inferior de esta.
- 2.- Se quita el dedo y se toma el tiempo necesario para que salga un volumen de 1/4 de galón ó 1 litro.

Tomando como líquido patrón el agua, el API ha hallado -- los siguientes valores:

<u>Volumen ingresante</u>	<u>Volumen saliente</u>	<u>Tiempo(seg)</u>
1500 cc	1 cuarto (946cc)	26±0.5 a 70°F
1500 cc	1000 cc	28±0.5 a 70°F
500 cc	500 cc	19±0.0 a 70°F

De estos tres tipos de determinaciones, el más usado es el segundo, ya que se usan el mismo sistema de unidades para el volumen que ingresa y para el que sale, a diferencia del primero y también por que es más seguro que la -- tercera forma.

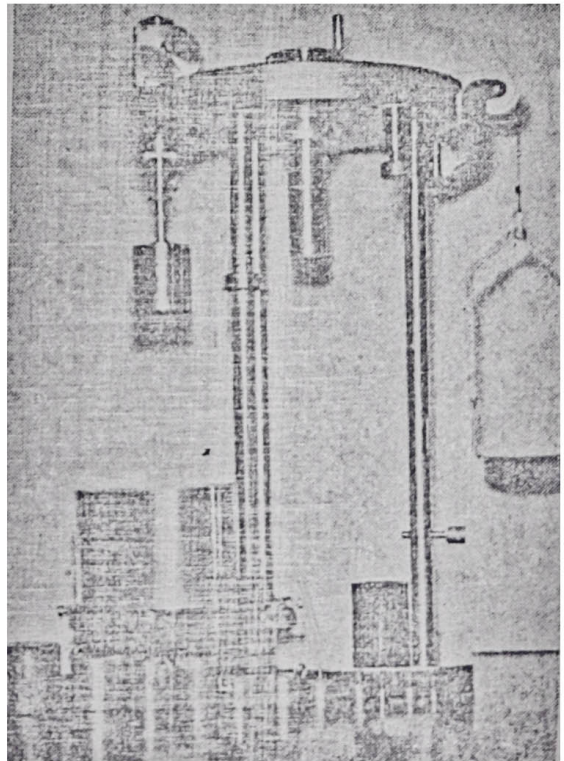
Ejemplo.- Prepare un lodo de 8.9 lbs/ gal y para 1000 cc de volumen saliente hallé un tiempo de 41 segundos

### VISCOSIMETRO STORMER

Este viscosímetro fue largamente usado para determinar la viscosidad y gelificación del lodo, pero ha sido desplazado por el viscosímetro Fann que es mucho más versátil y práctico. La principal desventaja del viscosímetro Stormer es la de no poder mantener un tipo deseado de velocidad por un período indefinido de tiempo.

Descripción del instrumento.- Como puede verse en la fig. 3, el Stormer consta de un cilindro hueco giratorio (1) conectado por medio de dos engranajes a una cuerda (2) a la cual se le puede adaptar diferentes pesos (3). La adición de pesas en la cuerda causa una rotación del cilindro (1) y el número de rotaciones es mostrada en el contador de revoluciones (4). Una copa (5) colocada dentro de una copa mayor tipo baño de agua (6) contiene el lodo a ser medido. Esta última está montada en una plataforma de sujeción (7) y todo el sistema (5), (6) y (7), puede desplazarse libremente a lo largo del eje (8). El sistema puede ser colocado en posición por medio del tornillo fijador (9). El movimiento de los engranajes es controlado por un freno (10) colocado en una posición fácilmente accesible, en el fondo de la caja del engranaje mayor. Una pequeña manivela (11) situada en la parte superior de la caja anteriormente citada, sirve para rotar el cilindro (1) o para levantar el peso (3) sin que gire el cilindro.

*FIGURA 3*



La copa del viscosímetro Stormer ha sido construída bajo - dos diseños, para fluídos de baja y alta viscosidad.

Una vez que la copa (5) es llenada de lodo hasta el enrase determinada por dos salientes metálicas internas, se levanta todo el sistema hasta el tope (12) y es afirmado por el tornillo fijador. Luego de hecho esto se gira el cilindro (1) rápidamente hacia atrás y adelante usando la manivela, para reducir la tixotropía del fluído y comprobar además que el cilindro gira libremente sin rozar la copa. A continuación se coloca el freno y se espera que el lodo deje de tener movimiento.

De esta manera el Stormer esta listo ya sea para determinar la viscosidad o la gelatinidad.

DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD.- Se suelta el freno y se ve si con el peso puesto se obtiene una velocidad estabilizada de 600 RPM, lo cual se comprueba al dar el contador una vuelta en seis segundos, en caso contrario se añade o quita pesas.

Una vez que se obtiene la velocidad deseada se leen los pesos usados en engranes y se va a una tabla donde se lee su viscosidad equivalente en centipoises.

DETERMINACION DEL ESFUERZO DE GELIFICACION.- Se estima la mínima cantidad de pesas requeridas para producir 1/8 de vuelta. Luego se suelta el freno y se ve si produce el gi

ro deseado. Si no rota, hay que repetir los pasos anteriores aumentando paulatinamente las pesas hasta alcanzar 1/8 de vuelta, al valor hallado se le denomina gel inicial y se da en gramos.

Para hallar el gel final, se agita vigorosamente el lodo, se pone el freno y se deja en reposo durante 10 minutos. Luego de esto se rompe la película superficial formada al rededor del eje del rotor y se quita el freno, si no gira el rotor hay que agregarle pesas.

Utilidad del Gel. - Es muy importante la determinación del gel, ya que a partir del valor hallado se puede calcular la presión de la bomba requerida para poner en circulación el lodo. La fórmula a usar es:

$$P = 0.00326 \text{ G.S/A}$$

Donde:

P = Paig

G = Gramos Stormer (Gel final)

S = Area lateral de tubería de perforar (D.P.) y del ferro (Cag.)

A = Area transversal de los miamos.

Ejemplo.

Prepare un lodo de 8.9 lbs/gal al que determiné su viscosidad y gelatinosidad.

a) Viscosidad: Se usó 120 gra. En la tabla: 28 cp.



b) Gel inicial: Se usaron 60 grs. En la tabla se lee: 7 cp

Gel final: Se usaron 64 grs. En la tabla se lee: 7.8 cp

Problema.-

Qué presión se necesita para reiniciar la circulación después de 10 minutos de parada, si se halló una gelatinosidad de 113 gramos. Se usó tubería de perforar de  $4\frac{1}{2}$  O.D. (16.6 lbs/ft), broca de  $8\frac{1}{2}$ . La profundidad del pozo es de 7200 pies de los cuales 3000 pies tienen tubería de revestimiento (forros) de  $10\frac{3}{4}$  (45.5 lbs/ft)

Solución

$S_{IDP}$  = Superficie interior de la tubería de perforar

$$= 2\pi (3.826/2) 7200/12 = 7200 \text{ ft}^2$$

$S_{ODP}$  = Superficie exterior de la tubería de perforar

$$= 2\pi (4.5/2) 3000/12 = 3540 \text{ ft}^2$$

$S_W$  = Superficie interior de la tubería de revestimiento

$$= 2\pi (9.95/2) 3000/12 = 7800 \text{ ft}^2$$

$S'_{ODP}$  = Superficie exterior de la tubería de perforar

$$= 2\pi (4.5/2) 4200/12 = 4950 \text{ ft}^2$$

$S_H$  = Superficie del hueco (sin casing)

$$= 2\pi (8.5/2) 4200/12 = 9330 \text{ ft}^2$$

$A_1$  = Area transversal interna del D. P.

$$= \pi/4 (3.826)^2 = 11.50 \text{ in}^2$$

$A_2$  = Area transversal anular entre D.P. y Csg.

$$= \pi/4 (9.95^2 - 4.50^2) = 61.80 \text{ in}^2$$

$$A_3 = \text{Area transversal anular entre D.P. y Hueco}$$
$$= \pi/4 (8.5^2 - 4.5^2) = 41.00 \text{ in}^2$$

Reemplazando todos estos valores en la fórmula:

$$P = 0.00326 G ( S_{IDP}/A_1 - (S_{ODP} - S_W)/A_2 - (S_{ODP} - S_H)/A_3 )$$

$$P = 0.00326 \times 113(7200/11.5 - 11340/61.8 - 14280/41)$$

$$P = 425 \text{ psig} \quad ///$$

§ § § I § § §  
ooooooooo

### VISCOSÍMETROS ROTATIVOS - GENERALIDADES

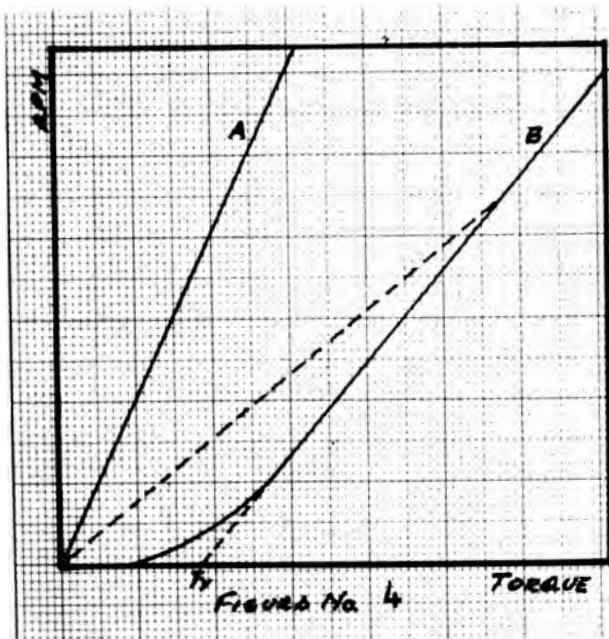
Los viscosímetros rotativos son aquellos que se caracterizan por que poseen varias velocidades de rotación, la cual, puede ser obtenida por medio de un motor o de una manivela. Utilizan el principio del torque, que se produce al girar un cilindro en el interior de una camisa, teniendo entre ambas el lodo muestra. Entre los viscosímetros más conocidos se pueden mencionar: el Mac Michael, el viscosímetro Stormer, el Fann, etc.

El viscosímetro Mac Michael fue el primer instrumento de este tipo que se usó para realizar las pruebas de los fluidos de perforación. Este instrumento se usaba en la industria de la cerámica antes de su introducción en la industria del petróleo. En su construcción es algo similar al viscosímetro Stormer.

El viscosímetro Stormer da valores satisfactorios cuando

se trata de fluidos newtonianos, pero hay fluidos que no son de este tipo. Las propiedades de flujo de la mayoría de los lodos son gobernadas por las leyes de los fluidos plásticos. Estos poseen propiedades tixotropicas.

Para medir tales tipos de flujos se requieren instrumentos que sean capaces de operar a una velocidad determinada por un tiempo suficiente que permita al fluido alcanzar su equilibrio en el tipo de velocidad usado. Esto significa además que el instrumento debe ser capaz de operar a varias velocidades para dar un amplio rango de valores.



Como se sabe los fluidos newtonianos solo tienen un valor para su viscosidad, pero los fluidos plásticos están caracterizados por tener dos valores, uno es el punto de cedencia y el otro la viscosidad plástica, ver página 14.

En la figura 4 se observan las curvas características de los fluidos newtonianos (Curva A) y de los fluidos plásticos (Curva B).

En la curva A se puede ver que el torque es directamente

proporcional a la velocidad de rotación; que pasa por el origen de coordenadas y sobre todo, la curva es definida solo por un punto Torque vs. RPM.

En la curva B se observa que para que comience el flujo se requiere de una fuerza inicial, esta en un principio es una curva pero luego se prolongará aproximadamente como una recta. Prolongando esta sección se determina en el eje de Torque el punto de cedencia ( $T_y$ ). Para poder dibujar esta curva el instrumento debe tener varias velocidades de operación.

Las principales características de un viscosímetro rotativo para lodos de perforación son:

- 1.- El instrumento deberá ser diseñado de tal manera que las condiciones de flujo puedan ser descritas matemáticamente.
- 2.- El instrumento deberá ser capaz de operar para períodos indefinidos de tiempo bajo condiciones de temperatura constante, y mantener un esfuerzo de corte -- también constante, variando este esfuerzo de tal manera que involucre los rates de bombeo del lodo.
- 3.- Es también importante que sea resistente al trato rudo del campo y ser capaz de trabajar normalmente con materiales en suspensión. Debe permitir la obtención de lecturas instantáneas de viscosidad.

### VISCOSIMETRO FANN V-G

Melrose y Lilienthal presentaron en 1951 un viscosímetro de velocidades variables, conocido como el Fann V-G (V-G significa viscosidad y gel) para la determinación de la viscosidad plástica, punto de cedencia y gelificación -- tanto en el laboratorio como en el campo..

En 1954, Savins y Roper introdujeron modificaciones en el diseño del instrumento mejorando de esta manera su -- portabilidad y calidad.

Este instrumento esta registrado en el API con la denominación API 13-B, como el método standard para la determinación de la viscosidad del lodo. Se tienen diferentes tipos de estos viscosímetros, a saber, el modelo de campo de dos velocidades (300 y 600 RPM) operado por una batería de 12 voltios o por corriente alterna de 115 voltios usando un transformador; un modelo de laboratorio de múltiples velocidades (3,6,100,200,300 y 600 RPM) que usa corriente alterna de 115 voltios y un modelo de campo de dos velocidades movido por una manivela. En la figura 5 se aprecia un viscosímetro Fann V-G, que es un -- viscosímetro de múltiples velocidades.

El viscosímetro de seis velocidades puede utilizarse para el estudio de la viscosidad de los fluidos a diferentes ranges de velocidades mientras que el instrumento de

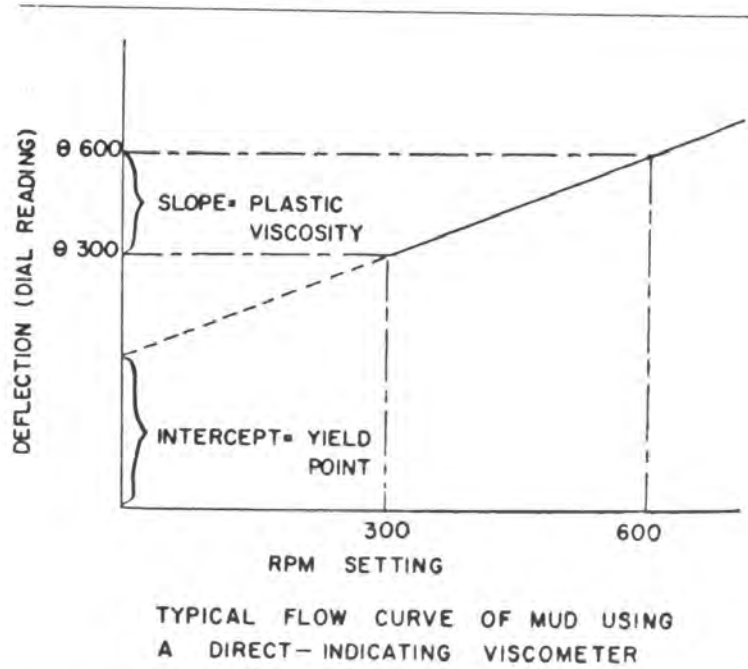


Figure 6. Typical flow curve of mud using a direct-indicating viscometer.

das velocidades sirve para determinar la viscosidad plástica, el punto de cendencia y la gelificación.

La figura 6 muestra la curva que relaciona las lecturas - a 600 y 300 RPM (lectura en el dial) con las revoluciones en el lodo. La curva muestra el comportamiento de un flujo plástico que como puede verse es una recta que intercepta al eje de torques en un valor mayor que cero y que se le denomina punto de cedencia.

Calibración de los Viscosímetros. - Los viscosímetros de tipo embudo y los rotativos dan resultados que no son los valores de la viscosidad, por lo que hay que llevar dichos valores a tablas de conversión.

Por ejemplo en el Stormer el valor obtenido es en gramos para 600 RPM, en el embudo Marsh segundos para un volumen determinado, en el Mac Michael son grados de movimiento de torsión de un alambre, etc.

Todos estos instrumentos deben ser calibrados con un flujo de no tixotrópico de viscosidad conocida a fin de convertir las lecturas del viscosímetro en centipoises.

Los valores del embudo Marsh son siempre reportados, por razones prácticas, en segundos y el instrumento es raras veces calibrado (en el campo), pero si se cree conveniente puede calibrarse dicho instrumento.

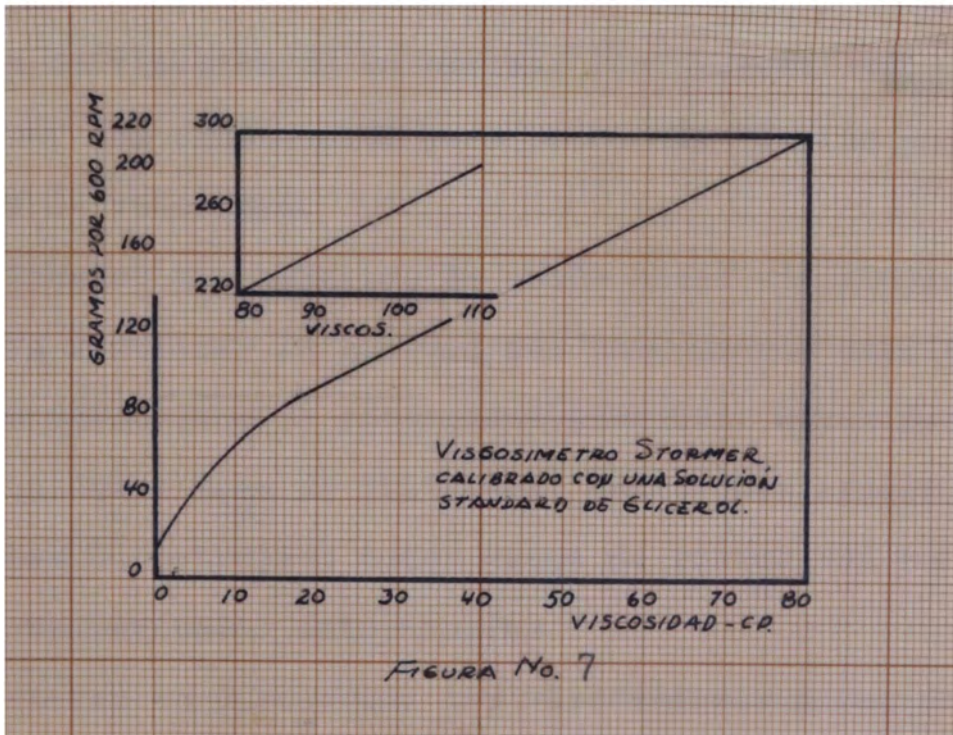
La calibración del Stormer para un fluido de trabajo, se hace introduciendo un líquido de viscosidad conocida en -

la copa y determinando el peso requerido para producir 600 RPM en el cilindro rotativo (ver figura 3).

En la calibración del Stormer se asume que la curva de calibración, obtenida con líquidos de viscosidad standar y usualmente de baja densidad, se pueden usar correctamente en lodos que varían su densidad en un amplio rango. Esto es falso, Owen ha obtenido curvas de calibración para el Stormer usando líquidos newtonianos de densidad variable entre 7 y 12 lbs/gal y también de viscosidad variable. Se observa que estas curvas tienen una pendiente variable, mientras que si la densidad no tuviera influencia, deberían obtenerse curvas verticales. Esas curvas muestran que si se toma en cuenta la densidad para la determinación precisa de la viscosidad, esta última se eleva.

En la figura 7 se ha hecho un ploteo del peso requerido vs. viscosidad. Una vez que se ha logrado calibrar de esta manera el instrumento, debe revisarse por lo menos dos veces anualmente para estar seguros de los valores leídos. Se tienen varios fluidos no tixotrópicos los cuales pueden usarse para la calibración, así tenemos, soluciones azucaradas, petroleos o mezclas con kerosene o tetracloruro de carbono, soluciones agua-glicerina, etc. Las viscosidades de estos son usualmente determinadas por medio del viscosímetro Ostwald.





Sheely tiene valores tabulados para soluciones de viscosidad conocida a base de glicerina y agua destilada y en las cuales varía la gravedad específica de la solución. La calibración del Fann V-G se lleva a cabo según las -- normas API RP 133 que dice: "La operación del instrumento como viscosímetro de lectura directa, depende del mantenimiento, de la tensión correcta del resorte y de la velocidad de rotación de la camisa. Los procedimientos son dados por los fabricantes para probar la tensión del resorte y la velocidad.

Generalmente, sin embargo, se puede hacer una simple prueba para verificar la calidad del instrumento usando un líquido newtoniano de viscosidad conocida. Estos pueden ser líquidos a base de siliconas, soluciones azucaradas, productos de petróleo; todos estos de viscosidad conocida y a temperaturas determinadas."

Debe tenerse en cuenta que las viscosidades obtenidas -- del embudo Marsh y de los viscosímetros rotativos no son viscosidades absolutas sino de naturaleza cinemática. O sea que la densidad del líquido sometido a prueba influencia en el valor de la viscosidad.

Correlación de los Valores de Viscosidad obtenidos por  
los diferentes métodos

Owen estudió la relación que hay entre las viscosidades obtenidas con el embudo Marsh y el Stormer. Trabajó con 26 lodos con un rango de densidades entre 8.42 y 11.60 lbs/gal y que poseían propiedades tixotrópicas apreciables. Dividió estos lodos en cuatro grupos los cuales tenían aproximadamente la misma viscosidad Marsh.

La viscosidad Stormer fue determinada para un rango de velocidades de 200 a 1000 RPM. Las viscosidades así obtenidas y corregidas para la densidad son ploteadas en un papel log-log vs. las revoluciones Stormer.

Las viscosidades Marsh fueron obtenidas con un embudo -- que había sido calibrado con un líquido estándar y los valores obtenidos ploteados a la viscosidad correcta en la curva determinada por el mismo lodo en el Stormer.

En la figura 8 se muestran las curvas obtenidas para un grupo de estos lodos. Nótese que estos lodos tienen un rango de viscosidades de 16.5 a 31.2 cp. a 600 RPM mientras que la viscosidad Marsh de cada uno es de 40 seg. A 1200 RPM la viscosidad Stormer varió solo un 20%. Se nota además que las viscosidades Marsh y Stormer son prácticamente idénticas entre 1000 y 1200 RPM. Esto se encontró cierto para las cuatro clases de lodos estudiados. Owen concluyó que cuando se determina la viscosidad --

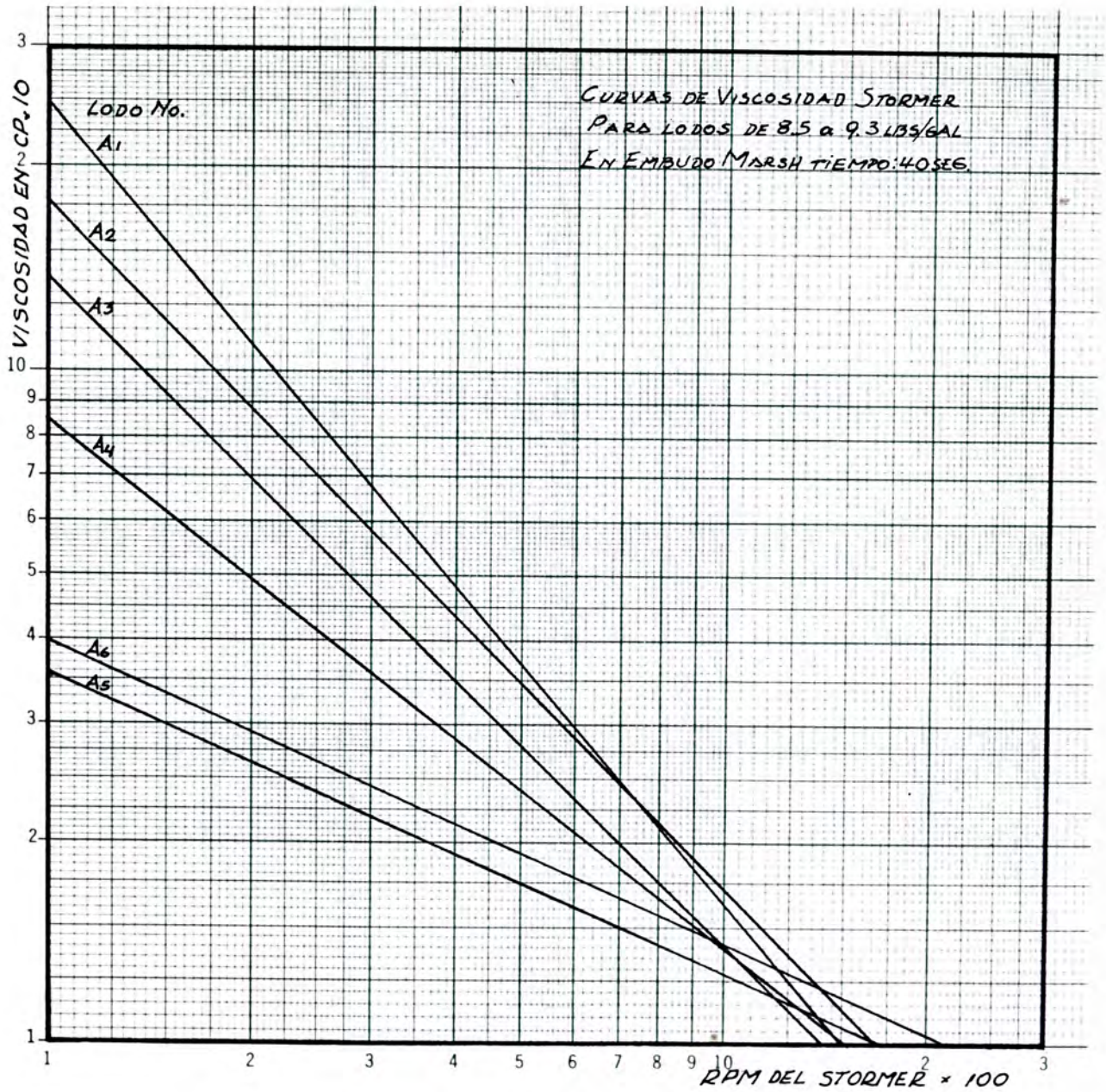


FIGURA 8

Stormer a 1100 RPM se hallaba una íntima relación entre entre las viscosidades Marsh y Stormer.

Malrose y Lilienthal encontraron la relación existente - entre la viscosidad Stormer y las propiedades de un flujo plástico de lodo.

La viscosidad aparente ( $\mu_a$ ) puede ser obtenida usando la línea punteada de la figura 4, pag 24, la ecuación es la siguiente:

$$\mu_a = 9.55 SK.T/RPM = k.T/RPM \dots\dots\dots (a)$$

Donde:  $k = 9.55 S.K$  es la constante del instrumento  
 $T =$  torque

La viscosidad plástica ( $\mu_p$ ) se obtiene usando la línea B en la figura 4, y tiene por expresión:

$$\mu_p = k(T - T_y)/RPM = k.T/RPM - k.T_y/RPM \dots(b)$$

donde  $T_y$  es el torque en la intersección en el eje de torques. Reemplazando la ecuación (b) en (a) se tiene:

$$\mu_a = \mu_p + k.T_y/RPM$$

ecuación que muestra la relación de viscosidad Stormer, - viscosidad plástica y el punto de cedencia.

- - - - - 0 - - - - -  
x x x x x  
-

PRUEBAS DE FILTRACION

Esta prueba consiste, en la determinación de rate al cual el fluido es forzado a pasar por un filtro por medio de una prensa que contiene el lodo a probar, bajo condiciones determinadas de presión y tiempo, usualmente 100 psi y 30 minutos y en medir el espesor de la película de sólidos residuales depositados en el papel de filtro por la pérdida del líquido. La mayoría de las prensa-filtro usadas hoy en día se basan en la prensa-filtro Baroid de baja presión, aunque existen una o dos que son de diseño totalmente diferente.

La mayoría de las prensas-filtro utilizan el mismo diámetro de  $3 \pm 0.07$  pulgadas, lo que permite usar un papel de filtro de tamaño standard. El area de filtración es a - proximadamente de 7 pulgadas cuadradas.

Los métodos para obtener la presión de trabajo de 100 psi son diversos; ya sea usándose botellas de oxígeno o nitrógeno comprimido y en las cuales por medio de una válvula de regulación se reduce la presión hasta 100 psi, o usándose pequeños cilindros de di-óxido de carbono líquido así como tambien puede usarse la presión de agua ejercida directamente contra el lodo por medio de una bomba hidráulica.

. . . 0 . . .

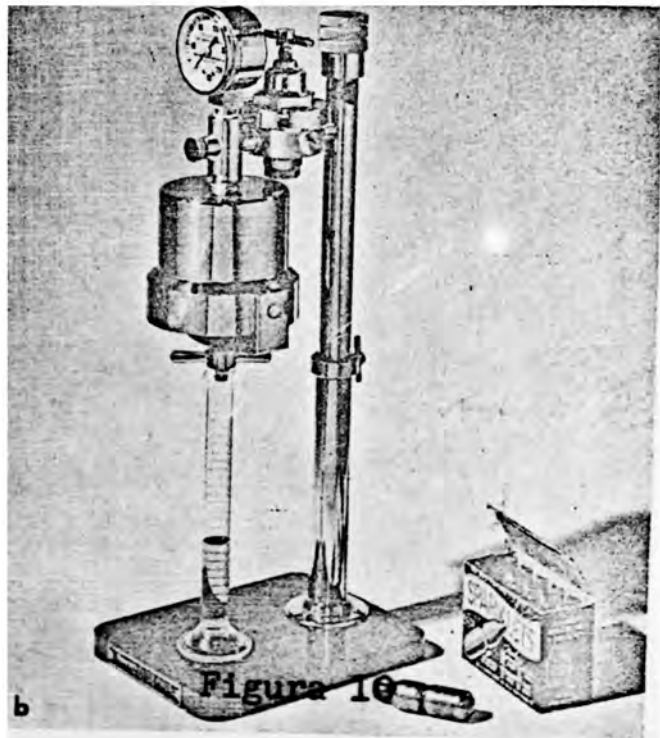
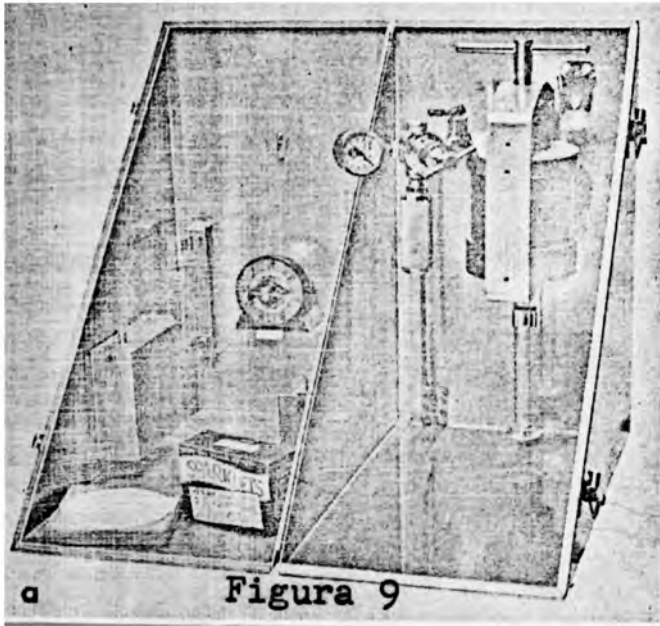
### FILTRADO A BAJA PRESION

Una de las propiedades de los lodos de perforación es el rate de filtración o pérdida de agua, lo cual es una medida de la cantidad relativa de pérdida de filtrado en las formaciones permeables, y de la cantidad de la capa de lodo depositado en las paredes permeables del hueco.

Las prensas de baja presión (o sea 100 psi) como las mostradas en las figuras 9 y 10 son instrumentos que cumplen con las especificaciones API para la determinación de la filtración.

La presión es proporcionada por cartuchos de  $CO_2$ . Realizando algunas modificaciones en las conexiones se puede usar aire comprimido proporcionado por una compresora o por cilindros especiales. La prueba se lleva a cabo de la siguiente manera:

- 1.- Llenar el recipiente con el lodo hasta aproximadamente  $1\frac{1}{2}$  pulgada del tope. Se llenará hasta el tope sólo cuando es necesario conservar el gas. Cuando la celda va a ser llenada completamente con aire comprimido solo se requiere llenarla parcialmente con lodo. No es aconsejable usar oxígeno por el peligro de que suceda una explosión. En vez de aire también se puede usar nitrógeno.
- 2.- Con la probeta puesta para recibir el filtrado, se aplica la presión por medio del regulador hasta obtener los 100 psi con una tolerancia de 5 psi. No se debe abrir





la válvula de gas cuando el regulador esta ajustado, controlando que la presión se mantenga en 100 psig, para lo cual, de tiempo en tiempo se abre la válvula del tanque - para elevar la presión .

3.- Al cumplirse los 30 minutos, se libera la presión y - se lee en la probeta el volumen acumulado en ml o  $\text{cm}^3$  como pérdida de agua. El papel filtro es cuidadosamente sacado con la torta y el exceso de lodo es removido con un chorro de agua. El espesor de la torta debe ser aproximadamente semejante a 1/32 pulgadas para considerar el lodo como aceptable.

Ejemplo de laboratorio. - Preparé un lodo de 8.9 lbs/gal, - luego seguí todos los pasos citados anteriormente y finalmente después de 30 minutos obtuve 20 ml de filtrado.

Retiré cuidadosamente el papel de filtro y lavé suavemente la torta. Luego la corté por la mitad y observé que tenía un espesor estimado de 1/32 pulgada.

o o o o o o o o o o

### FILTRADO A ALTA PRESION Y ALTA TEMPERATURA

Algunos agentes de control de filtración tienden a perder su efectividad cuando están sujetos a alta presión y temperatura.

Es por esto que se requiere la realización de pruebas bajo condiciones similares a las existentes en el fondo del pozo, tanto en presión como en temperatura.

Estos instrumentos consisten, ver figura 11, esencialmente de un productor de presión controlable, de una celda - construida para soportar presiones de por lo menos 1000 - psig, un sistema de calentamiento de la celda, y de un armazón adecuado para soportar los aditamentos citados.

La celda está hecha de acero inoxidable y tiene aproximadamente 3 1/4 x 6 pulgadas y tiene una capacidad de 175 - ml. Como elemento de filtro se usa un papel Whatman número 50. El área del filtro es 3.5 pulgadas cuadradas (la mitad del área del filtro de baja presión). Para obtener la presión se utiliza nitrógeno o algún gas no peligroso, y el rango de temperatura es de 300° a 400°F.

El procedimiento para realizar la prueba a 300°F es el siguiente:

- 1.- Conectar el hornillo cilíndrico (hornillo tipo camisa) al voltaje adecuado. Poner el termómetro. Graduar la temperatura del hornillo a 310°F y ajustar el termómetro a fin de mantener la temperatura constante.



FIGURA 11

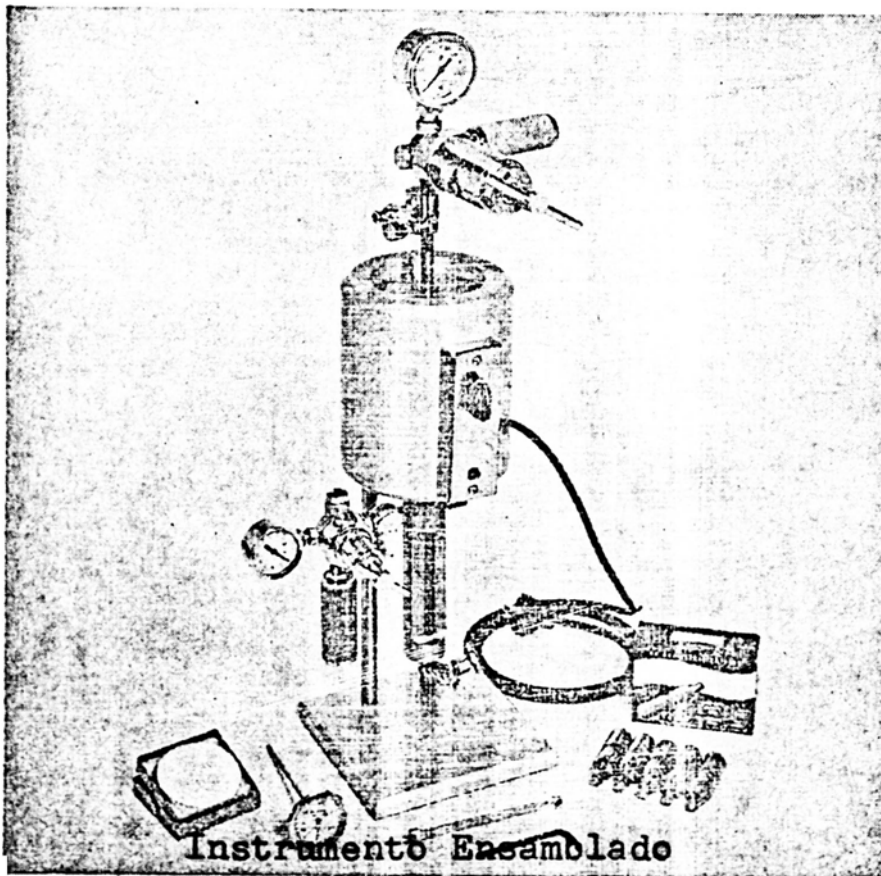


FIGURA 12

- 2.- Usar un lodo previamente calentado a 120° ó 130°F
- 3.- Llenar la celda teniendo cuidado de hacerlo hasta 1/2 pulgada antes del tope, por las expansiones que pueda sufrir el fluido.
- 4.- Ponga la celda en el hornillo cilíndrico con las válvulas del fondo y del tope cerradas.
- 5.- Ponga la unidad de presión en el tope de la válvula y cierre ésta. Coloque el receptor de la presión de fondo y asegúrelo en su lugar. Aplicar 100 psig con las válvulas cerradas. Abra la válvula del tope y aplique 100 psig mientras el lodo esta calentando.
- 6.- Cuando la muestra alcance los 300°F aumente la presión del tope a 600 psig y abrir la válvula del fondo para comenzar la filtración. Recibir la filtración durante 30 minutos manteniendo la presión con una variación máxima de 5°F. Anote el volumen total colectado.
- 7.- El volumen filtrado debe corregirse para un filtro -- que tenga un área de 7.1 pulg.<sup>2</sup>, para lo cual se multiplica el volumen leído por 2.

No pudo realizarse una prueba de laboratorio sobre filtrado a alta presión y temperatura porque desgraciadamente en la Facultad no contamos con el equipo necesario.

\*\*\*\*\*

### DETERMINACION DEL CONTENIDO DE ARENA

Según las especificaciones API originalmente se usaron tres métodos para la determinación del contenido de arena en los lodos. Pero hoy en día se han reducido a una simple medición usando una malla 200 mesh.

Se sabe que la arena tiene un efecto abrasivo sobre las bombas, angueras y conductos de fluido en la broca. Siempre existe el peligro, al detenerse la bomba, de que la arena se asiente en el hueco y cause la pegadura de la sarta de perforación.

Cuando se observa que hay cierta pérdida de circulación en formaciones cercanas a la superficie, esto puede deberse a que el peso del lodo es excesivo.

Por medio de pruebas de campo y laboratorio se ha llegado a la conclusión de que un lodo puede considerarse bueno mientras posea un porcentaje de arena menor al 1 % en volumen. El contenido de arena en los fluidos de perforación puede reducirse por varios métodos tales como los tanques de extra-asentamiento, desarenadores centrífugos, etc. Cuando en la perforación de una zona se encuentra con una formación gruesa de arena fina, la penetración de la broca debe ser reducida para facilitar a las bombas el acarreo de la arena que asciende con el fluido.

La figura 13 muestra un aparato bastante simple para la determinación de la arena. Consiste (1) de un tamiz de malla

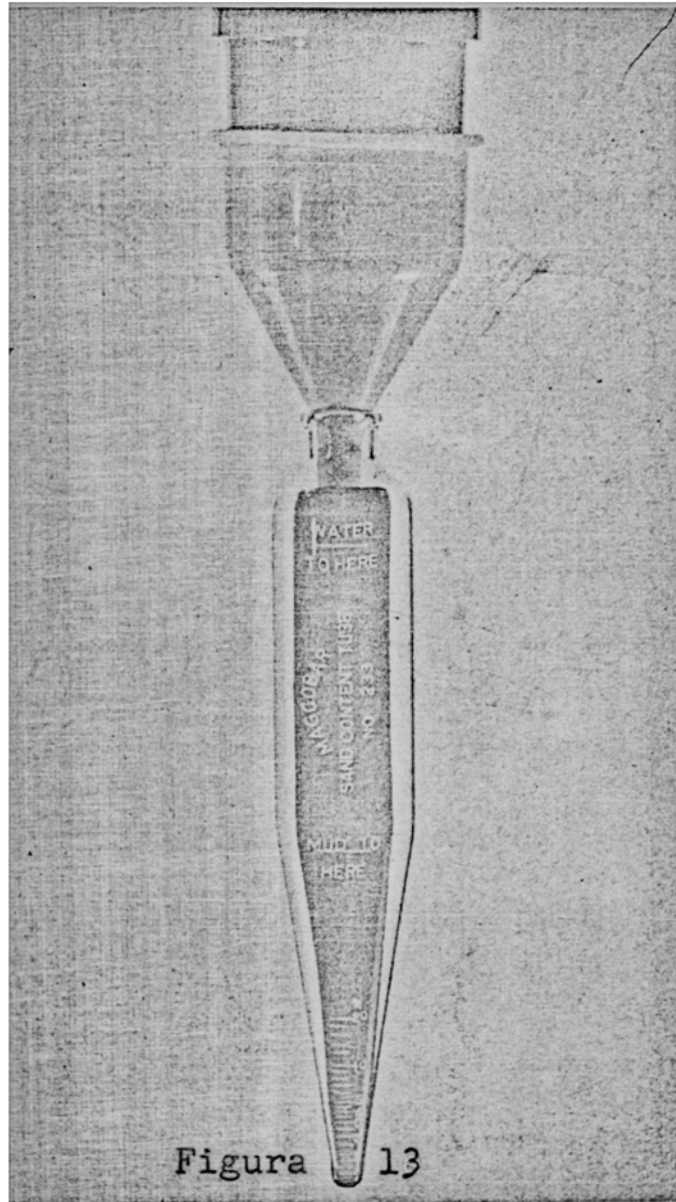


Figura 13

número 200 mesh y de 2  $\frac{1}{2}$  pulgadas de diámetro que se encuentra en el interior de un collar el cual tiene la forma de un pequeño embudo y (2) de un tubo de medición de vidrio calibrado de 0 hasta 20 lo que permite leer directamente el porcentaje en volumen de arena.

El procedimiento para hallar el contenido de arena es el siguiente:

- 1.- Llenar el tubo con lodo hasta la marca que tiene impreso "Mud to Here". Luego añadir agua hasta la marca que dice "Water to Here". Cubrir la boca del tubo con el dedo y agitarlo vigorosamente.
- 2.- Luego hacer pasar esta mezcla a través de la malla de sechando el filtrado ya que solo interesa la parte sólida que queda atrapada en la malla. El arena retenida en la malla se lava con un chorro de agua para remover las partículas de lodo que hubieran quedado.
- 3.- Después de realizado el anterior paso, se invierte la malla y se echa agua suavemente para que toda la arena caiga en el tubo graduado, y se deja que se asiente.
- 4.- Finalmente, se lee en el tubo graduado la cantidad de arena depositada lo cual se reporta como porcentaje.

## DETERMINACION DEL CONTENIDO DE SOLIDOS Y LIQUIDOS EN LOS Lodos

Algunas propiedades de los lodos tales como la densidad, viscosidad, gelatinidad y filtración son dependientes en grado sumo del contenido de sólidos en los lodos.

El conocimiento del volumen de los sólidos en el lodo puede dar una explicación de ciertas propiedades indeseables e indicar el tratamiento a seguir. Así por ejemplo, si el contenido de sólidos de un lodo denso es excesivo, lo indicado es usar agua y no sustancias químicas para adelgazar el lodo.

De particular importancia en los lodos pesados es el cálculo de la gravedad específica de los sólidos ya que este valor sirve como índice de las cantidades de arcilla y material pesado presentes.

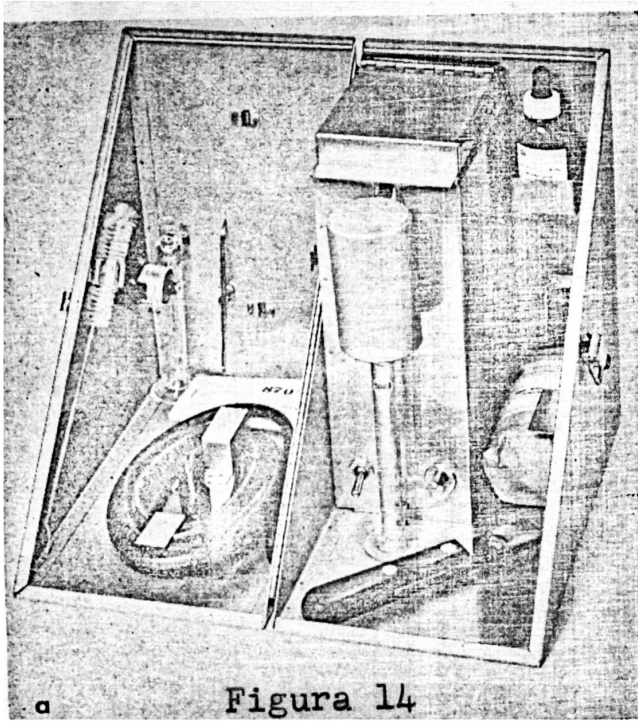
El contenido de sólidos puede ser determinado evaporando un peso de lodo dado y luego pesando el residuo, de la siguiente forma:

$$\% \text{ sólidos (peso)} = (\text{peso residuo} / \text{peso muestra}) \times 100$$

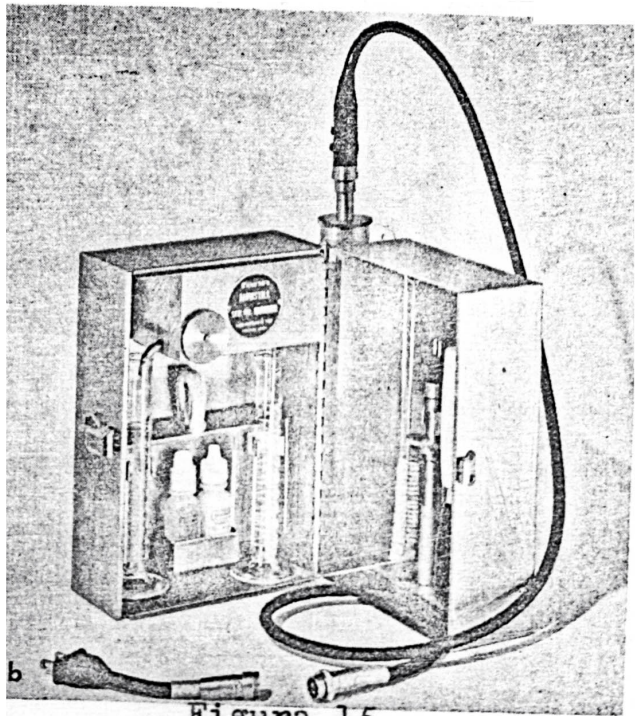
el volumen de los sólidos se puede calcular a partir del peso del lodo.

Para estimar el contenido de sólidos en lodos de agua salada, se debe aplicar una corrección debido a la presencia de sal, la cual debe calcularse previamente por un análisis de filtrado.





a      Figura 14



b      Figura 15

El volumen de los líquidos en el lodo se puede hallar - destilando y luego condensando los vapores que se desprenden. Este método es el más apropiado para lodos emulsionados a base de petróleo.

El contenido de petróleo es un factor importante en el -- mantenimiento de ciertas propiedades ventajosas en los lodos emulsionados.

Los aparatos mostrados en las figuras 14 y 15 sirven para una rápida determinación del contenido de agua, petróleo y sólidos.

El procedimiento para llevar a cabo esta prueba es el siguiente:

Llenar una pequeña cantidad de lodo (15 a 25 cc) en la retorta. Esta está usualmente construída con una resistencia interna, de manera que puede ser calentada eléctricamente utilizando corriente alterna o directa de 110 voltios.

La retorta desarrolla suficiente temperatura para destilar el agua y el petróleo por el tope.

La unidad ha sido construída con un condensador a base de agua fría de manera que el agua y el petróleo que salen del tope son colectadas en una probeta graduada, lo que - permite calcular los porcentajes de cada uno de la siguiente forma:

$$\% \text{ agua (volumen)} = (\text{cc agua} / \text{cc muestra}) \cdot 100$$

$$\% \text{ petróleo (volumen)} = (\text{cc petróleo} / \text{cc muestra}) \cdot 100$$

$$\% \text{ s\u00f3lidos} = \frac{\text{cc muestra} - (\text{cc agua} + \text{cc petroleo})}{\text{cc muestra}} \cdot 100$$

Con los valores calculados se puede hallar la gravedad espec\u00edfica ( $G_s$ ) promedio:

$$G_s = \frac{100(d/8.33) - \% \text{ agua} - 0.8 \% \text{ petroleo}}{\% \text{ s\u00f3lidos volumen}} \quad ///$$

En la f\u00f3rmula (d) es el peso del lodo en lbs/gal; la gravedad espec\u00edfica del petroleo se toma como 0.8 ya que valor es bastante preciso para realizar estos c\u00e1lculos

Si se asume que el contenido de s\u00f3lidos de un lodo consiste solamente de arcilla y material pesado (baritina) se puede hacer un c\u00e1lculo estimativo de las cantidades presentes de cada uno. Para esto, a la arcilla se le da una gravedad espec\u00edfica promedio de 2.6 y a la baritina de 4.3 los porcentajes usados son en peso/

$$100/G_s = \% C/2.6 + \% B/4.3 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\% B = 100 - \% C \quad \dots\dots\dots(2)$$

Sustituyendo (2) en (1):

$$100/G_s = \% C/2.6 + (100 - \% C)/4.3$$

$$0.152 (\% C) = 100/G_s - 100/4.3$$

$$\% C = 100/0.152 G_s - (23.3/0.152)(G_s/G_s)$$

$$\% C = (658 - 153 G_s)/G_s$$

$$\% B = 100 - \% C \quad ///$$

Es usado la letra C para la arcilla y B para la baritina.

### DETERMINACION DEL pH

El pH indica la alcalinidad o acidez de un fluido. Como fluido base se considera el agua, la cual cuando esta bi-distilada es neutra o sea que no es ácida ni básica y corresponde al número 7 en la escala pH. A partir de este valor si el pH del fluido varía entre 7 y 5 se le considera ligeramente ácido, pero si tiene un pH menor de 5 es altamente ácida.

Igualmente, cuando el pH del lodo varía entre 7 y 9 es ligeramente alcalino pero si tiene un valor mayor de 9 es considerado como altamente ácido. Los rangos máximos de variación del pH son 1 y 14.

En los trabajos de perforación rara vez el lodo tiene un valor menor de 6. En otros casos y particularmente cuando se trabaja con lodos a base de almidón, estos son de naturaleza alcalina, encontrándose que su pH tiene un rango comprendido entre 11.5 y 12.2

Hay dos métodos principales para determinar el pH, uno de estos está basado en el efecto de los ácidos o álcalis sobre el color de ciertos indicadores químicos. El otro está basado en el conocimiento que se tiene de que cuando ciertos electrodos son sumergidos en un líquido desarrollan un voltaje entre ellos que varía de acuerdo con el pH del líquido; estos métodos son conocidos como el método colorimétrico y electrométrico respectivamente.

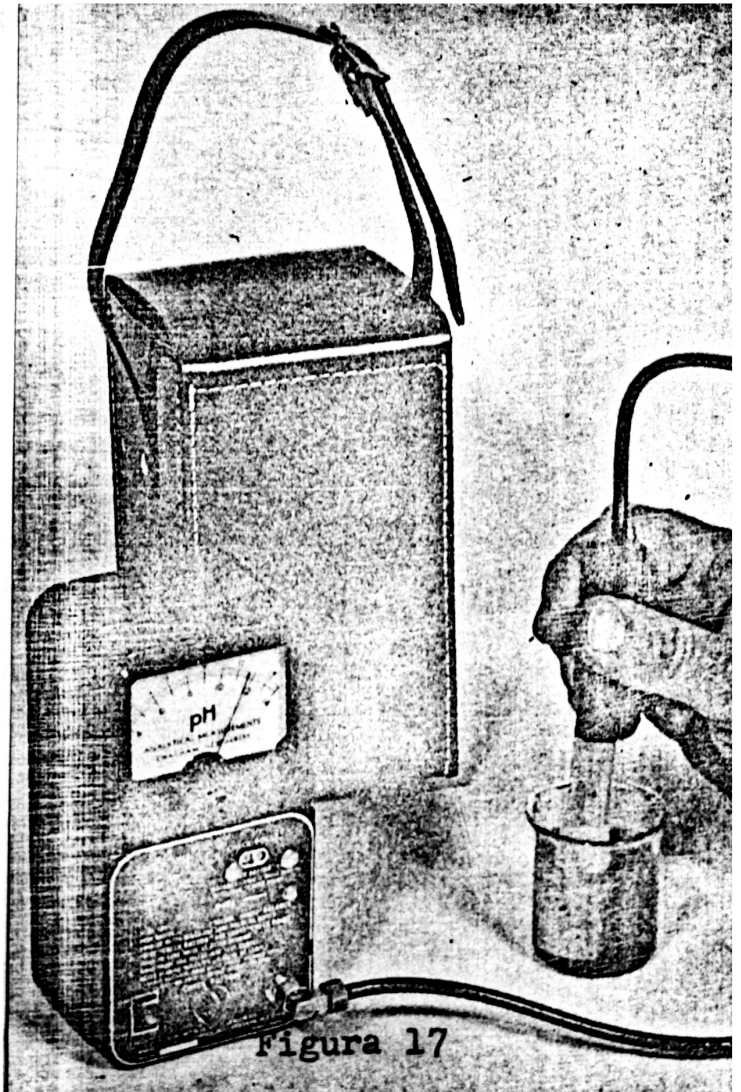
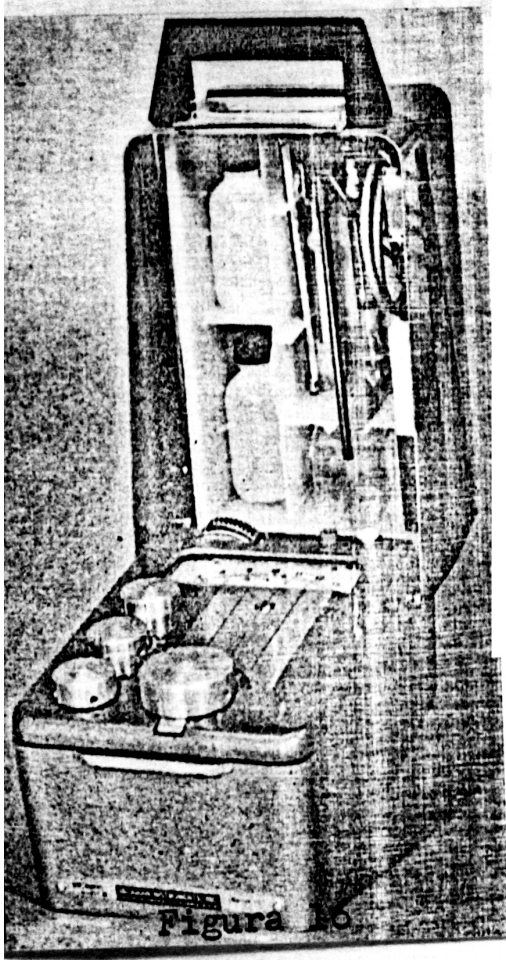
Método Colorimétrico.- Los indicadores para medir el pH - se basan, como dije anteriormente, en la habilidad de -- ciertos colorantes orgánicos para desarrollar colores característicos que dependen del pH del líquido con el que están en contacto. Estos colorantes han sido mezclados de tal forma que se obtienen variaciones de color para un amplio rango de valores de pH.

Uno de tales indicadores es conocido como el Indicador Universal de Amplio Rango (Universal wide Range Indicator). El líquido indicador es usado en conexión con una carta de colores donde se dan los correspondientes valores de - pH y colores.

También existen tiras de papel para hallar el pH, estos - están impregnados con diferentes tipos de indicadores. Es- tas tiras se consiguen en rolitos que vienen en una pe-- queña caja metálica que tiene en uno de sus lados una ta- bla de colores. Se pueden obtener variaciones de pH de u- no hasta 11.

Para usarlo se toma una tira de una pulgada más o menos - cual se pone en la superficie del lodo; el lado superior de la tira toma un color característico, el cual al compa- rarlo con la escala de colores da el pH respectivo.

Método Electroquímico.- Para la determinación del pH en el laboratorio donde se requiere precisión en los resultados lo más indicado es emplear instrumentos con electrodos de



vidrio. En las figuras 16 y 17 se pueden apreciar dos tipos de estos instrumentos.

Las escalas de estos medidores de pH están graduadas usualmente con variaciones de 0.1 pH, pero al efectuar una prueba puede leerse el valor hallado hasta con una aproximación de 0.05 unidades.

Por lo dicho anteriormente se deduce que estos instrumentos son bastantes seguros para registrar pequeñas variaciones del pH. También pueden usarse en el campo, pero como son algo delicados en su construcción, hay que tener cuidado de que no le suceda ningún daño durante su transporte.

- - - - -

### DETERMINACION DEL CLORURO DE SODIO

Esta determinación es muy importante cuando has que controlar la viscosidad de los lodos. Después de numerosas pruebas se ha llegado a la conclusión que los lodos agua-arcilla admiten un máximo de 1% de ClNa sin que varíen -- sus propiedades tixotrópicas.

Igualmente importante es su análisis para ver si la concentración en que se encuentra (la sal) en el lodo es lo suficientemente alta como para contaminarlo. Este problema de la contaminación por sal es muy frecuente en la mayoría de los campos petrolíferos de los Estados Unidos.

Ellos han encontrado que cuando el contenido de sal excede a 6000 p.p.m. es necesario alterar el programa elaborado para los lodos.

Para realizar la prueba de la determinación de sal se toman unos 15 a 20 cc de filtrado. Se le añade 2 ó 3 gotas de solución de fenoltaleína. Si la solución se torna rosada añadir ácido (que puede ser sulfúrico o nítrico 0.2 -- normal) agitando la muestra hasta que el color desaparezca. Si el filtrado esta profundamente coloreado, añadir una cantidad adicional, 2 cc, de ácido sulfúrico o nítrico de 0.2 normal y agitar. Luego agregar 1 gr de  $CO_3Ca$  y agitar. Enseguida se le adiciona unos 25 a 50 cc de agua destilada y 1 cc de una solución de Cromato de potasio.

Agitar continuamente mientras se le agrega una solución /



standard de  $\text{NO}_3\text{Ag}$  gota a gota hasta que el color cambie - de amarillo a anaranjado con una persistencia de 30 segundos; entonces se lee la cantidad de  $\text{NO}_3\text{Ag}$  usada y se tiene

$$\text{ClNa} = (\text{cc } \text{NO}_3\text{Ag} / \text{cc muestra}) \cdot 1000 \text{ p.p.m.}$$

La solución de  $\text{NO}_3\text{Ag}$  debe ser de 4.791 grs/lt que equivale a una concentración de 1 mgr de ión  $\text{Cl}^{-1}$  por 1 cc.

Si la concentración del ión cloro en el filtrado excede a 10,000 P.P.M., es más conveniente usar una solución que - tenga 47.91 grs/lt o sea un equivalente de 10 mgr de ión cloro por 1 cc. En este caso en la fórmula anterior se -- cambia el factor 1000 por 10,000.

En la página siguiente doy una tabla en que muestro el efecto de la concentración de sal en algunas de las propiedades del lodo.

<u>ClNa</u> <u>g</u>	<u>ClNa</u> <u>lbs.</u>	<u>Volumen</u> <u>de sol.</u> <u>bbls</u>	<u>Dens. de Soluc.</u>		<u>Cloro</u> <u>mg/lt</u>
			<u>gr/cc</u>	<u>lbs/gal</u>	
1.0	3.53	1.005	1.0041	8.33	6,098
2.0	7.14	1.008	1.0111	8.43	12,287
4.0	14.58	1.015	1.0253	8.55	24,921
6.0	22.34	1.022	1.0396	8.67	37,912
8.0	30.43	1.030	1.0541	8.80	51,296
10.0	38.89	1.038	1.0688	8.92	64,987
12.0	47.73	1.046	1.0837	9.04	79,065
14.0	56.98	1.057	1.0987	9.17	93,507
16.0	66.67	1.068	1.1140	9.30	108,373
18.0	76.83	1.078	1.1295	9.43	123,604
20.0	87.50	1.089	1.1453	9.56	139,320
22.0	98.72	1.102	1.1614	9.70	155,440
24.0	111.05	1.113	1.1778	9.83	171,905
26.0	122.97	1.129	1.1944	9.97	188,895
26.4	126.00	1.133	1.1978	9.99	191,600

### DETERMINACION DEL CALCIO

Esta prueba se lleva a cabo cuando se van a perforar tapones de cemento o formaciones de yeso o anhidrita.

La presencia de calcio es facilmente establecida por un análisis cualitativo, haciéndose además un análisis cuantitativo para hallar su concentración.

Prueba cualitativa.- Se requiere un tubo de prueba de 10 cc en el cual se colocan 5 cc de la muestra y a la cual se le añade 1 cc de oxalato de amonio concentrado.

Si se produce un precipitado blanco indica la presencia de calcio en el lodo.

Prueba cuantitativa.- Esta prueba llamada tambien de la solución standard de jabón, se realiza de la siguiente manera: Se toman de 1 a 10 cc de filtrado en una botella de agitación y se agrega agua destilada hasta completar 35 cc, se le agregan tres gotas de solución de fenoltaleína y suficiente  $\text{CO}_3\text{Na}_2$  hasta obtener una coloración rosada. A esta combinación se le agrega una solución standard de jabón de 0.5 en 0.5 cc y se agita violentamente para formar espuma; se sigue agregando la solución hasta obtener una espuma permanente, se tiene:

$$\text{Ca} = (\text{cc de jabón/cc muestra}).400 \quad \text{p.p.m.}$$

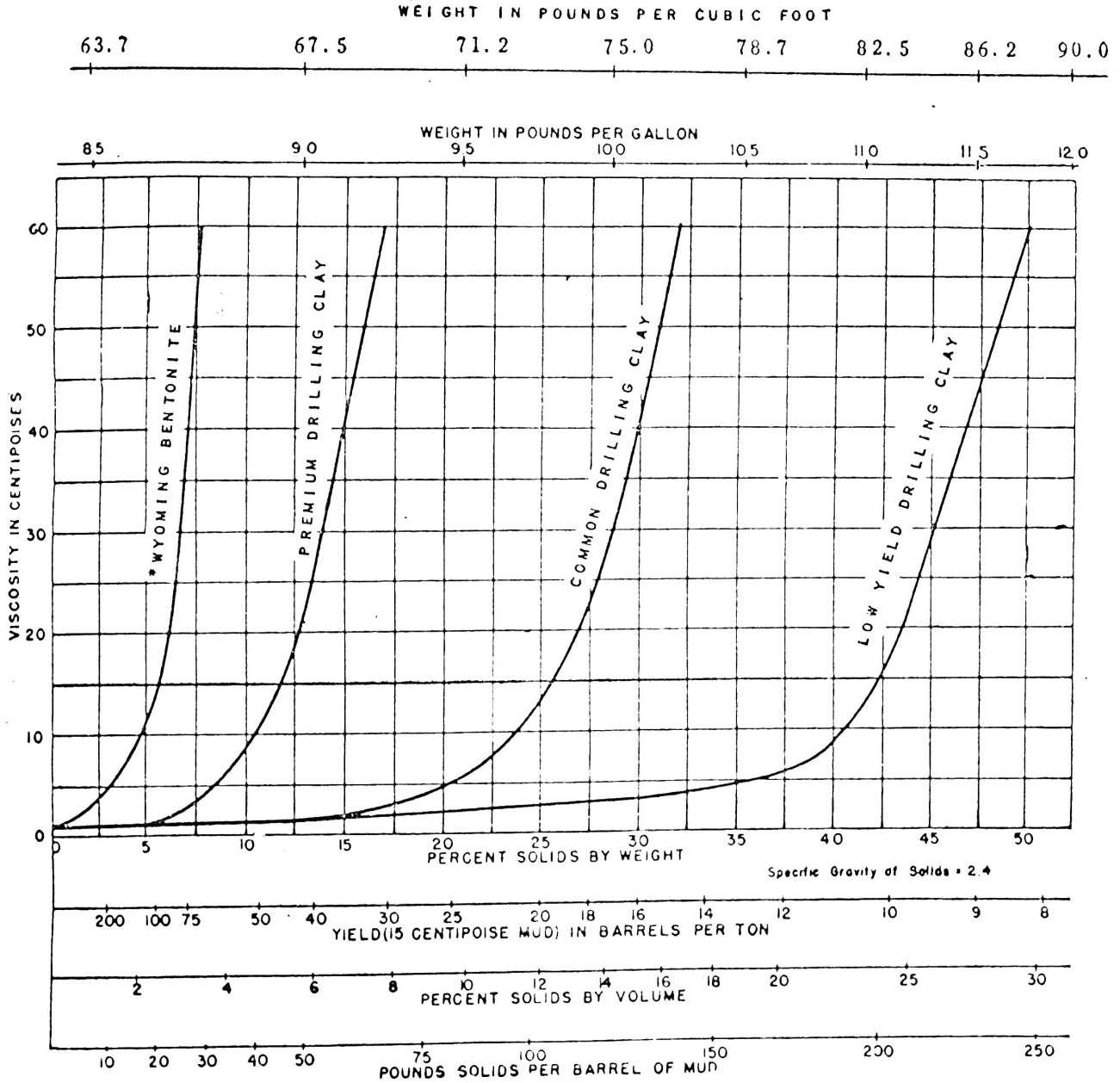
### RENDIMIENTO DE LAS ARCILLAS

Naturalidad de las arcillas y esquistos. - La gelificación e hinchazón de las arcillas son características que imparten cualidades especiales a los fluidos de perforación y que los hace diferentes de los demás líquidos viscosos. Se sabe que hay arcillas que se hinchan e hidratan en mayor porcentaje que otras como puede verse en la figura 18 se observa que la bentonita de Wyoming es una forma casi pura de la montmorillonita.

Las arcillas nativas pobres así como las comerciales de bajo rendimiento son solo ligeramente hidratables y cuando son añadidos a un lodo contribuyen principalmente a aumentar la fracción inerte y en forma ineficaz a incrementar la viscosidad.

La cantidad de sólidos que pueden añadirse al agua fresca para hacer un lodo bombeable depende de la habilidad de esos sólidos para hidratarse y del tamaño de las partículas. Si el material que se va a añadir es altamente coloidal, - bentonita por ejemplo, se tendrá que de 7 a 9% de sólidos es lo máximo que puede tolerar un lodo sin tratamiento químico y se obtendrá una densidad de 8.8 lbs/gal; a este tipo de arcillas se le denomina de alto rendimiento.

Rendimiento de una arcilla. - (Y) - Se define como el número de bbls. de lodo de 15 cp que se puede preparar de una m-



\* A GOOD SALT CLAY IN SALT WATER APPROXIMATES THE BENTONITE YIELD CURVE IN FRESH WATER

Figura 18

tonelada de material seco. Si el contenido coloidal hidratable del material es bajo, entonces el rendimiento será bajo y el lodo aceptará de 25% a 50% de sólidos, obteniéndose un lodo de 9.8 a 12.0 lbs/gal.

En todos los casos la forma de la curva es esencialmente la misma y el incremento de viscosidad no es directamente proporcional al contenido de sólidos. Los sólidos suspendidos tienen un ligero efecto sobre la viscosidad debajo del punto crítico, el cual es aproximadamente 15 cp. El contenido de sólidos en este punto crítico es descriptivo del tipo particular de arcilla o lutita y es indicativo de su tendencia a hidratarse. Encima del punto crítico en la curva, al agregarse una pequeña cantidad de sólidos se observa que la viscosidad aumenta grandemente.

Existen bentonitas comerciales usadas para los fluidos de perforación a las cuales se les conoce como bentonitas tipo wyoming, estas son predominantemente sódicas, son altamente dispersantes en mezclas acuosas y desarrollan altas viscosidades y gel. También son de baja pérdida de fluido en concentraciones relativamente bajas.

Hay otras arcillas que se les denominan tipo A y B respectivamente y que consisten en mezclas de las diferentes arcillas, solo tienen pequeñas cantidades de montmorillonita. Sus viscosidades y gel son mucho más bajas que las del tipo wyoming. En la página 59 muestro una tabla en la que se observa la variación de sus propiedades.

Bentonita tipo Wyoming

<u>Granos/100 ml</u> <u>de agua</u>	<u>pH</u>	<u>Viscos.</u> <u>Stormer</u> <u>CGS</u>	<u>Tixotropía</u> <u>Inic. 10 min</u> <u>ERS. Storner</u>		<u>Filtrado</u> <u>cc</u>
6.0	8.30	8.6	2	15	17
6.5	8.30	10.9	3	18	16
7.0	8.30	16.0	6	23	15
7.5	8.20	21.8	13	34	13.5
8.0	8.20	33.9	22	47	14
8.5	8.20	48.4	55	80	13
9.0	8.30	67.8	85	145	13
9.5	8.30	87.3	95	155	13
10.0	8.30	92.1	130	200	12

Arcilla A

20	7.50	4.4	7	12	57
25	7.60	6.8	17	22	50
30	7.60	13.2	42	47	42
35	7.60	24.5	82	92	39
40	7.60	31.5	92	112	34

Arcilla B

20	7.55	2.6	2	2	32
25	7.55	2.6	7	7	79
30	7.55	3.5	7	7	71
35	7.55	3.5	12	12	63
40	7.50	5.3	12	12	60

Las Arcillas A y B son sin embargo diferentes entre si, como contienen mezclas desconocidas de los minerales arcillosos, sus acciones en mezclas acuosas no se pueden predecir y solo pueden determinarse por prueba de campo.

Como puede observarse en el cuadro, las propiedades tixotrópicas estan definidas por las concentraciones y aumenta directamente en relación a esta última. Asi por ejemplo - si deseamos un lodo de 20 cp. se necesitan 7.5 gr. de bentonita por 100 cc de agua y la mezcla resultante tendrá un gel inicial de 13 gr. y un gel final de 34 gr. Stormer.

Con la arcilla A tambien se podría obtener un lodo de viscosidad semejante pero se requieren porcentajes de arcilla mucho mayores; esto se debería a que esta arcilla contiene algunos minerales hidratables.

La Arcilla B es totalmente inerte y tiene baja viscosidad y alta perdida de agua. No muestra evidencias de propiedades tixotrópicas, pero actua como un fluido que tuviera - propiedades de los flujos plásticos. Estos tipos de arcillas contienen evidentemente pequenas cantidades de algún mineral arcilloso de tipo hidratable.

En la figura 19 puede observarse las cantidades que se requieren de bentonita, arcilla A, arcilla B respectivamente para alcanzar una determinada viscosidad.



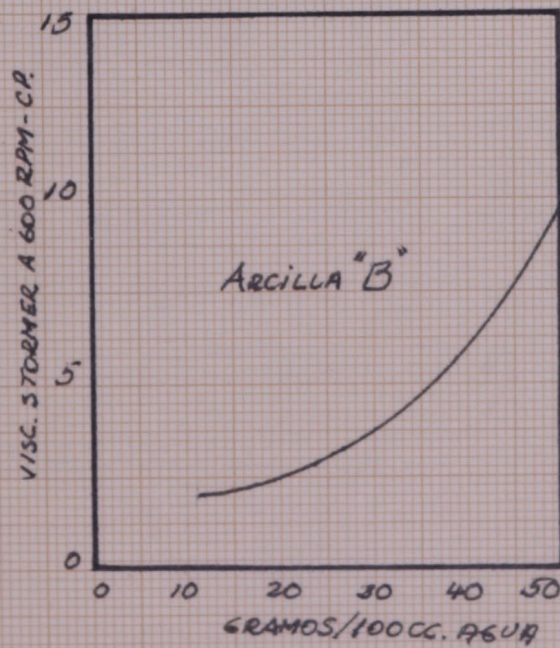
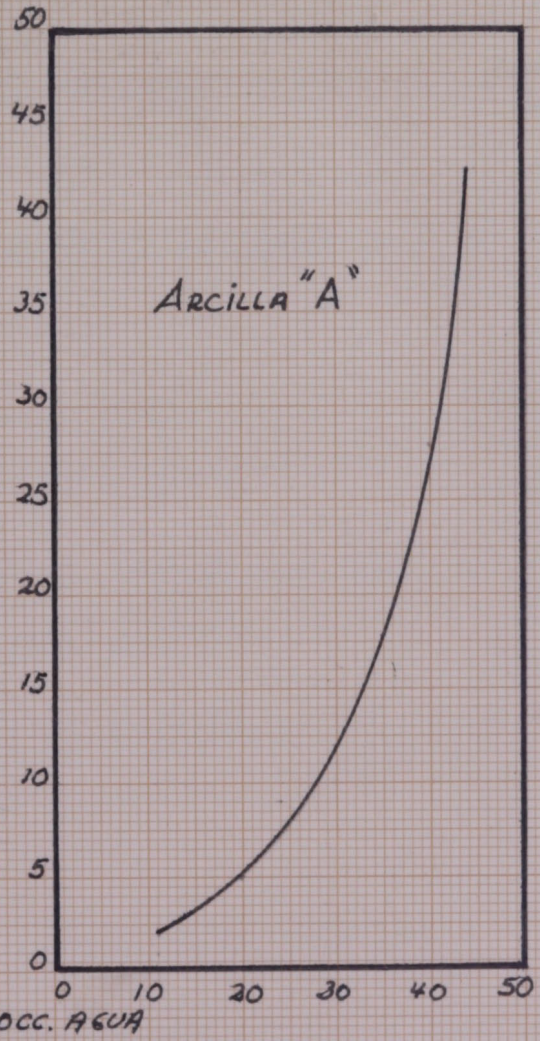
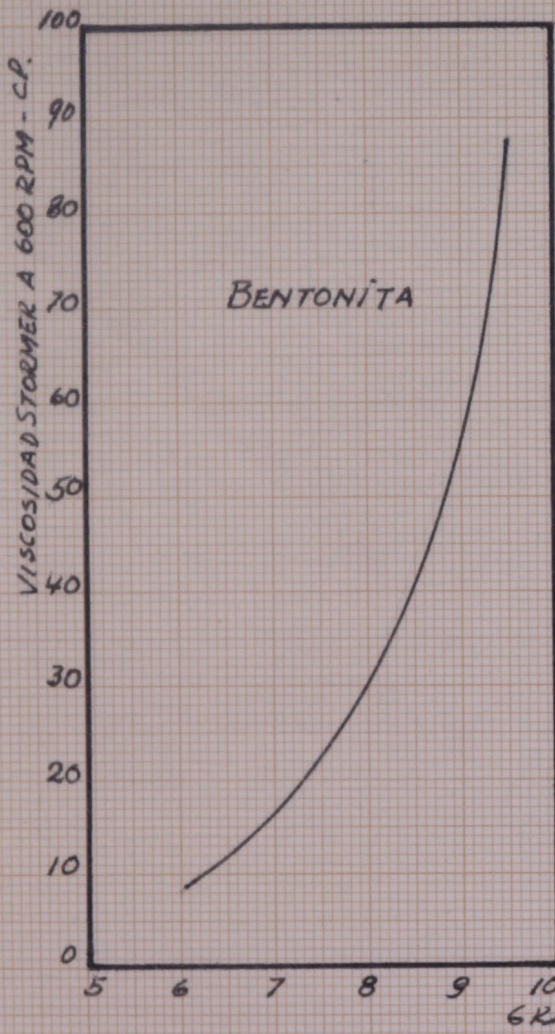


FIGURA No. 19

**Fórmula del Rendimiento (Y).** - c = % de arcilla

I).- **Para Agua Dulce.** - Densidad del agua: 8.33 lbs/gal

$$Y = \text{Bbbls. gel} + \text{Bbls agua} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{bbls gel} = 2000 \text{ lba}/42 \text{ gal}/\text{bbl} \times 8.33 \text{ lbs}/\text{gal} \times 2.5$$

$$\text{Bbls gel} = 2000/875 \text{ bbls} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Peso del agua} = 2000 (100 - c)/c$$

$$\text{Bbls de agua} = 2000 (100 - c)/8.33 \times 42 c$$

$$\text{bbls de agua} = 2000 (100 - c)/350 c \text{ bbls} \dots (3)$$

Reemplazando los valores (2) y (3) en (1):

$$Y = 2000/875 + 2000(100 - c)/350 c$$

$$Y = 572/c - 3.42 \quad ///$$

II).- **Para agua salada.** - De densidad 10.0 lbs/gal

$$\text{bbls de gel} = 2000/42 \times 10 \times 2.5 = 40/21 \text{ bbls} \quad (4)$$

$$\text{Peso del agua} = 2000 (100 - c)/c$$

$$\text{Bbls de agua} = 2000 (100 - c)/10 \times 42 \times c$$

$$\text{Bbls de agua} = 100 (100 - c)/21 c \text{ bbls} \dots\dots (5)$$

Sustituyendo los valores (4) y (5) en (1):

$$Y = 40/21 + 100 (100 - c)/21 c$$

$$Y = 476/c - 2.46 \quad ///$$

