

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ZULIA
FACULTAD DE INGENIERIA

NO

BIBLIOTECA

LOGOS Y MATERIALES
CARACTERISTICAS Y ADITIVOS



FACULTAD GEOLOGIA
MINAS Y PETROLEO

DPTO. GEOLOGIA
MINAS Y PETROLEOS

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

APROBADO

GOBIERNO DE ECUADOR

JURADO EXAMINADOR

G. G. M. M.

Profesor Asesor

J. P. P.

G. R. G.

NO

Las resoluciones emitidas por el Consejo de la Universidad para la aprobación de este trabajo, quedan sujetas a la decisión final del Consejo de la Universidad, el cual se emitirá por escrito.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ZULIA

LÓDOS DE PERFORACION
CARACTERISTICAS Y ADITIVOS

UNIVERSIDAD DEL ZULIA

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

LABORATORIO DE INVESTIGACIONES EN PETROLOGIA

1957-10

108

B. L. 586

por

pedro Rías Lugo

Trabajo Especial de Grado
para optar el título de
INGENIERO DE PETROLEOS

UNIVERSIDAD DEL ZULIA

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

LABORATORIO DE INVESTIGACIONES EN PETROLOGIA

1957-10

108

B. L. 586

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS

1957

135 copias

RECONOCIMIENTO

A la Socony Mobil Oil Company de Venezuela, por su generoso patrocinio en la realización de mis estudios.-

Al Ing. E. E. Barberi, por su asesoramiento en este trabajo.

CONTENIDO

IDENTIFICACION	i
PRÓLOGO	ii
RECONOCIMIENTO	iii
INTRODUCCION	iv
CAPITULO I	
PROPIEDADES DEL LODO DE PERFORACION	1
1. Remover el Ripo del Pozo	1
2. Evitar Reventones	2
3. Depositar un Revocoque Impermeable	3
4. Prevenir Derrumbes del Pozo	4
5. Mantener el Ripo en Suspensión	5
6. Lubricar y Enfriar la Barrena y la Tubaría de Perforación	10
7. Contribuir a la Obtención de Buenos Registros Eléctricos	12
CAPITULO II	
PROPIEDADES DEL LODO DE PERFORACION	17
1. Densidad	17
2. Viscosidad	18
3. Pérdida de Filtración	25
4. Gelatinización	30
5. Contenido de Arena	40
6. pH	41
7. Contenido de Sales	42
8. Contenido de Sólidos	50

CAPITULO III

ADITIVOS	56
1. Materiales Pesantes .	56
A. Baritina	56
B. Oxido de Hierro	60
C. Galena	65
2. Materiales Arcillosos	70
3. Agentes Controladores de la Pérdida de Circulación	80
A. Mica	81
B. Bagazo de Caña	82
C. Hollejos de Serillas de Algodón...	82
D. Perlita	83
E. Celulosa Plástica	84
F. Escamas de Celulosa Plástica	85
4. Agentes Reductores de la Viscosidad	86
A. Fosfatos	88
B. Quebracho	91
5. Gomas y Almidones	96
6. Silicato de Sodio	105
7. Carbonato de Bario	111
8. Lodos Aireados	114
BIBLIOGRAFIA	117

INTRODUCCION

El estudio del fluido de perforación puede dividirse en dos etapas: Etapa Inicial, 1901 - 1920 y la Etapa Moderna, 1921 hasta el presente.

ETAPA INICIAL. Esta primera parte de la historia del lodo, carece de datos fidedignos. Sin embargo, se observa que el lodo de perforación se ha venido desarrollando y perfeccionando paralelamente a los adelantos logrados por la perforación rotatoria. El fluido de perforación fué usado por primera vez en 1901, en el primer pozo del campo de Spindletop, Texas, Estados Unidos de Norteamérica. Este pozo fué el primero perforado con herramientas rotatorias. El lodo usado fué un lodo natural, formado por suspensión de arcillas y lutitas en agua, molidos por la barrena en el proceso de perforación.

Para esta época no se le prestaba ninguna atención al fluido de perforación, a sus propiedades físicas y químicas no se le atribuía la importancia debida, y por lo tanto, no merecían ninguna consideración.

Pollard y Heggem, 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



BIBLIOTECA NIT
ESPOL

que se usara un 20% de arcilla por peso de agua empleada en la mezcla.

Lewis y Mc-Murray, en 1916 trabajaron sobre el mismo problema de la adaptación del fluido de perforación al sistema de perforación a percusión, con el fin de evitar reventones. Definieron el fluido 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 tapan los pozos de las arenas y las rocas, y que no pasara a través de ellos.

Es de observarse que de 1914 a 1921 ya se le prestaba cierta atención al lodo de perforación.

ETAPA MODERNA (1921 en adelante). La Etapa Moderna del fluido de perforación comienza en 1921, con las primeras tentativas para controlar las propiedades del lodo por medio de aditivos especiales.

Stroud en 1921 fué comisionado para encontrar un medio de aumentar el peso del lodo, con el fin de evitar reventones en los pozos perforados en zonas gasíferas de alta presión. Comunmente sucedió que dichos pozos además de fluir sin control se incendiaban. Stroud constató que lodos a base de arcilla podían pesar de 10,4 a 11 lbs/gal., pero eran demasiados viscosos. Tal característica los hacía difícil de bombear, y facilmente se contamina-

han con el gas. Stroud fué el primero en usar el óxido de hierro pulverizando como material pesante, y encontró que mezclado con agua, resultaba una mezcla que pesaba de 15 a 18 lbs/gal., y podía ser bombeada fácilmente.

Este material pesante fué recomendado a la industria, y fué usado ampliamente en las perforaciones de los campos gasíferos del sur de Arkansas y del norte de Louisiana con muy buenos resultados. Sin embargo, presentaba el inconveniente de ser muy obscuro y de poseer gran poder teñidor. Stroud experimentó con barita y encontró que era más adecuada que el óxido de hierro, como agente pesante, pero presentaba el problema de asentarse rápidamente. Esto a la vez constituía un problema para conservar el peso adecuado del lodo. Aunque Stroud inició el uso de los compuestos metálicos como agentes pesantes en 1921, sus ideas fueron patentadas en 1926.

En 1927 se comprobaron y descubrieron ampliamente las características de un fluido de perforación, en Ventura Avenue, California. Un año más tarde, Cartwright fué el primero en afirmar "que la densidad y la viscosidad del lodo deben ser aproximadamente correctas para lograr una buena penetración en las arenas que se perforan".

El uso de la bentonita o arcilla bentonítica no fué iniciado sino hasta 1929. Ese año sus usos fueron patentados por Cross, bajo el n.º 1.943.584, y por Harth según patente N.º 1.991.637, 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.

Por primera vez, el uso de sustancias químicas para tratar el lodo de perforación se hizo en 1929. Estas sustancias fueron alcalinas, para aumentar la viscosidad y evitar el asentamiento del ingrediente pesante. También se emplearon este año sustancias diluventes tales como compuestos tánicos y fosfatos molecularmente deshidratados.

En 1930 se usó por primera vez el silicato de sodio como lodo de perforación de lutitas desmoronables en unos pozos de la Costa del Golfo de México. También se usó en este mismo año lodo a base de aceite.

El desarrollo y perfeccionamiento del equipo utilizado para medir las propiedades físicas y químicas del fluido de perforación comienza en 1931. Marsh presentó a la industria su viscosímetro de embudo, para medir la viscosidad del lodo en el campo. En este mismo año fué recomendado a la industria el uso del viscosímetro Stormer para medir la viscosidad a 600 r.p.m., técnica hasta hoy empleada. Igualmente se usó por primera vez el cornidor para remover eficientemente el ripio del lodo.

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. También se investigan las características físicas y químicas de las formaciones, y se inician experimentos sobre las propiedades del revoque de lodos de arcilla a base de agua.

Durante 1935 - 1936 se inició el uso del almidón para lograr lodos de filtración mínimo, para usarlos en formaciones delezna- bles. Durante este mismo período se inició el uso de gomas y o- tras sustancias inmunes a los efectos floculantes del agua sala- da. En 1935, Dodge, en California, diseñó un aparato para medir la cantidad de arena contenido en el lodo.

En 1938, se experimentó con lodos a base de azufre, los re- sultados obtenidos no fueron halagadores.

En 1937 aparece el filtro-prensa para determinar la pérdida de filtración y las propiedades del revoque; y también una balan- za, diseñada por Jones, para medir la densidad.

En 1938, E. A. Sawdon descubre la determinación de la pro- piedades químicas del lodo, y desde aquí en adelante el progreso logrado ha consistido en el mejoramiento de la técnica de medir las propiedades físicas y químicas y de hacer estudios de las ca- racterísticas de los lodos usados en la industria, y de aquellos que tengan probabilidades de uso en la perforación.

En la preparación y características de los lodos de perfora- ción se nota una decidida inclinación por el uso de sustancias que, debidamente catalogadas según las normas de pureza y ensaya



das satisfactoriamente, tiendan a evitar las dificultades factibles de ocurrir en la perforación debido al lodo mismo o a las propiedades físicas y químicas de las formaciones.

CAPITULO I

FUNCIONES DEL LODO DE PERFORACION

Las funciones principales del lodo de perforación durante su recorrido en el pozo son:

1. Remover el Ripio del Pozo
2. Evitar Reventones
3. Depositar un Revoque Impermeable
4. Prevenir Derrumbes del Pozo
5. Mantener en Suspensión el Ripio
6. Lubricar y Enfriar la Barrena y la Tubería de Perforación
7. Contribuir a la Obtención de Buenos Registros Eléctricos

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. La capacidad de transporte de un lado depende de la: 1) velocidad de ascenso del fluido por el espacio anular, 2) densidad del lodo, 3) viscosidad del lodo, 4) densidad, tamaño y forma del ripio.

Una partícula de ripio debe su movimiento, 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.

Al movimiento de la partícula se opone su efecto friccional con el lodo y depende de su forma, tensión interfacial entre la fase líquida, y la viscosidad del lodo.

En resumen, la velocidad efectiva del ascenso de la partícula será la diferencia entre la velocidad ascensional del lodo y la velocidad de asentamiento de la partícula. Como resultado de esta propiedad del lodo, las partículas más pequeñas se moverán más rápido que las grandes del mismo material, y las partículas livianas se moverán más rápido que las más pesadas del mismo tamaño. El lodo circulante efectúa una acción selectiva del río de una formación determinada, y existe la posibilidad de que partículas de distintas formaciones se mezclen. Por lo tanto, hay dudas acerca de la veracidad de las informaciones que pueden suministrar las muestras de canal.

Magnitud de la velocidad ascendente del río. Le han presentado muchas ecuaciones, algunas empíricas, para calcular la velocidad ascendente del río, y todas reconocen que ella de-

pende del tamaño y forma de las partículas, de la diferencia de densidad entre el ripio y el lodo, y de las condiciones del lodo. Entre las principales fórmulas deducidas para este cálculo, se encuentran:

- 1) Fórmula para el cálculo de la velocidad de asentamiento de partículas esféricas, que se mueven bajo flujo viscoso ($Re \leq 2000$). La resistencia es proporcional a la viscosidad, área de la partícula y velocidad relativa. Esta relación es dada por la ecuación de Stokes ⁴⁹, para partículas cuyo diámetro varía entre 3 y 100 micrones:

$$U_s = \frac{D^2 g (p_s - p_m)}{18u}$$

U_s - velocidad de asentamiento, pie por segundo

D - diámetro de la partícula, pie

g - aceleración de la gravedad, 32,2 pie por segundo al cuadrado

p_s - densidad de la partícula, libras por pie cúbico

p_m - densidad del lodo, libras por pie cúbico

u - viscosidad del lodo, centripoises x 0.000672, libras por pie por segundo

También hay ecuaciones experimentales, para el cálculo de la velocidad de asentamiento de partículas esféricas, cuyo diámetro sea mayor de 100 micrones y bajo las mismas condiciones anteriores.



FECA FICT
POL

2) Fórmula para el cálculo de la velocidad de asentamiento de partículas esféricas (10 -1200 mc) en flujo turbulento ($Re \geq 2000$). Esta fué presentada por Rittinger* y muestra que la velocidad de asentamiento varía con las propiedades físicas del fluido y las propiedades físicas de las partículas.

$$U_s = g \frac{D(p_s - p_m)}{p_m}$$

Para el cálculo de la velocidad de asentamiento de las mismas partículas que se mueven en un flujo de transición cuyas características están entre turbulento y laminar, se pueden aplicar a ambas ecuaciones.

La velocidad de ascenso de un ripio bajo ciertas condiciones de flujo puede ser conocida experimentalmente .

2. Evitar Reventones

Con el avance de la perforación de un pozo se nota aumento de la presión del subsuelo. Estas presiones se clasifican en; 1) normales, 2) anormales, y 3) subnormales, según sea igual, mayor o menor, respectivamente, a la presión hidrostática ejercida por una columna de agua de igual longitud. Algunas formaciones a ve-

1 micrón = 0,0001 cm = 0.00004 pulgada

* Pigolt, R.J.S., Mud Flow in Drilling - API, 1941, pg. 91

ces contienen fluido a alta presión, y para poder controlarlos es necesario que la columna de lodo ejerza una presión hidrostática equivalente a tales presiones, más un exceso de presión, como factor de seguridad, para evitar el flujo de gas, petróleo o agua hacia el pozo.

Además, es conveniente, en algunos casos, que la presión hidrostática del lodo no sea excesiva ya que puede producir flujo hacia la formación y lograr la pérdida de circulación parcial o total, y aumentar la pérdida de filtrado.^{37, 49}

La densidad del lodo, como factor determinante de la presión hidrostática, puede ser aumentada por la adición de sólidos o disminuidos por la adición de agua u otro líquido.

Un lodo que pesa 70 a 75 libras por pié cúbico, tendrá densidad suficiente para controlar las presiones normales de las formaciones; pero algunas veces cuando se encuentran presiones anormales, hay que agregarle al lodo materiales pesantes como baritina, hematita, galena, y bentonita, como agente coloidal, para lograr adecuada fuerza de suspensión que pueda mantener flotante estos materiales pesantes.

Cuando se perforan horizontes gasíferos a alta presión y la columna de lodo no es suficiente para controlarlos, el gas pasa en forma de pequeñas burbujas, que van aumentando de 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 reventón. 49

El efecto boyante del lodo, que es proporcional a su densidad, disminuye el esfuerzo tensional a la que va estar sometida la sarta de revestimiento, haciendo que su calidad y espesor sea reducido, lo que indica un ahorro directo en acero y por consiguiente en dinero.

3. Revoque

El lodo tiene tendencia 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 se acumulan en la entrada del poro, y hacen que se forme el revoque; y están acumulados en tal forma que actúa como un puente en la entrada del poro. El material inicial necesario para formarlo, debe tener un tercio del diámetro del poro. El espacio libre entre el material grueso es cubierto de la misma manera por las partículas sólidas más pequeñas, y así sucesivamente, hasta formar un revoque casi impermeable. 49

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.

El fin primordial del revoque, es reducir a una cantidad mínima la entrada de filtrado a la formación, para evitar una serie de inconvenientes, entre los cuales se encuentran:

1. Disminución de la permeabilidad respecto al petróleo, en las partes de las formaciones inmediatas al pozo.
2. Derrumbe de la pared del pozo, producido por el ablandamiento de lutitas y arcillas bentoníticas, pudiendo ocasionar el atascamiento de la sarta de perforación.
3. Atascamiento de la sarta de perforación debido al hinchamiento de formaciones bentoníticas atravesadas por el pozo; que puede ser de tal magnitud que restrinja el diámetro del pozo y evite la sacada de la sarta.
4. Dificulta en la interpretación de los registros eléctricos. Las resistividades del registro no son las verdaderas de la formación. A veces incluyen además, la resistividad de la zona invadida. El problema se hace más complicado debido a que la extensión de la zona invadida es di

fácil de evaluarla con exactitud.

El revoque también puede presentar inconvenientes:

1. Por su introducción dentro de la formación, por el trabajo efectuado sobre él por las herramientas de perforación, haciendo que la permeabilidad en estos sitios se haga casi nula. Esta reducción de permeabilidad puede ser tal, que la formación no produzca ni aún por suaveo, necesitando entonces otros procesos más costosos.
2. Revoques excesivamente gruesos pueden producir dificultades para la sacada de la sarta de perforación.

4. Prevenir Derrumbes del Pozo

Los derrumbes de la pared del pozo son evitados por la presencia misma del lodo en el pozo, ya que la presión hidrostática ejercida por la columna, se ejercerá directamente sobre la pared, oponiéndose a su derrumbamiento, y también por la disminución de la cantidad de filtrado que entra en la formación.

Con la elaboración de un buen programa de lodo, que controle eficazmente el derrumbamiento de las paredes del pozo, la pérdida de circulación, etc., puede ahorrarse a cero en el diseño del sistema de revestimiento, quien constituye $1/4$ a $1/3$ del costo de perforación de un pozo, evitándose la instalación de costosas sargas intermedias. La forma ideal sería instalar el revestidor

superficial y el de producción, pero esto es casi imposible.

5. Mantener el Ripio en Suspensión

En el curso de la perforación es necesario parar la circulación del lodo, cuando se va añadir una pareja a la sarta de perforación, cuando hay que reparar el equipo, cambiar la barrena, etc.; aunque se tomen precauciones especiales, como sería la de alzar un poco de sarta de perforación y continuar circulando lodo para que se limpie el lodo cargado de ripio, siempre queda una cantidad de ripio en el sistema, el cual se asentará al cesar la circulación, aumentando así el peligro de atascar la barrena, y por ende, se crea circunstancias graves que pueden degenerar en obras de pesca o la pérdida del pozo.⁹

Para eliminar estos inconvenientes, lo más adecuado es hacer que el lodo posea buena propiedad de gelatinización, que impida el asentamiento del ripio. La gelatinización se logra por la adición de material coloidal, como la bentonita.

Una vez que la circulación es interrumpida, las partículas comienzan asentarse, pero debido a las características mineralógicas y electroquímicas de la bentonita, se va produciendo la gelatinización del lodo, hasta llegar un momento en que la gelatinización llega a un valor tal, que las partículas de ripio quedan atrapadas dentro del lodo, evitando con ello su asentamiento.

6. Lubricar y Enfriar la Barrena y la Tubería de Perforación

Esta propiedad del lodo asiste en asegurar el buen funcionamiento de la barrena y de la sarta, produciendo un eficiente y económico proceso de perforación. 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 causar que la sarta se tuerza.

Estos inconvenientes son reducidos por las buenas propiedades lubricantes del lodo, las que hacen que se forme una película molecular que actúa como lubricante, eliminando así considerablemente la fricción y el rayado de la sarta.

Gran parte de la energía impuesta sobre la sarta de perforación es consumida para vencer estos efectos friccionales. Esta energía se convierte en calor, manifestándose por un aumento de temperatura de las partes afectadas.

El aumento de temperatura produce una reducción en la resistencia del acero a las distintas clases de esfuerzos, y por consiguiente un rápido desgaste de los dientes de la barrena y roturas de la sarta, ocasionando gastos adicionales en la perforación. Además de este calor friccional existe otra fuente, que es el calor de las mismas formaciones perforadas, que depende del gradiente



CA FROT
L - POL

diente geotérmico del lugar. Este inconveniente es subsanado en gran parte por la propiedad que tiene el lodo de absorber el calor, propiedad que difiere muy poco de la del agua, aunque esto es ligeramente cambiada como resultado de los sólidos y materiales que contiene el lodo en suspensión. 37, 47

Muchas veces para lograr una buena regulación de temperatura es necesario utilizar lodos y enfriadores de fabricación especial.

7. Contribución a la Obtención de Buenos Registros Eléctricos

En la actualidad, los medios más usados para determinar la posibilidad de la existencia de petróleo en una formación son los registros. Entre éstos se cuentan los eléctricos, cuyos resultados son a veces afectados por el lodo.

Para la obtención de los registros eléctricos es necesario tener un lodo que reúna ciertas condiciones, ya que él actúa como medio transmisor de la corriente del electrodo hacia las formaciones.

El lodo no debe tener una resistividad demasiado alta, porque impedirá el paso de corriente a las formaciones. Si este caso se presentara, se requerirá hacer otro tipo de registro, como el microlog. Si el lodo tiene en cambio una resistividad muy baja, como lodos a base de agua salada, se presenta el inconveniente de la interpretación del registro. 9

CAPITULO II

PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PERFORACION

Las propiedades más importantes del lodo para determinar su comportamiento son:

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| 1. Densidad ✓ | 5. Contenido de Arena ✓ |
| 2. Viscosidad ✓ | 6. pH. ✓ |
| 3. Pérdida de Filtración ✓ | 7. Contenido de Sales ✓ |
| 4. Gelatinización ✓ | 8. Contenido de Sólidos ✓ |

1. DENSIDAD

La densidad es una de las propiedades más importantes y que con más frecuencia se vigila en el fluido de perforación. Debido a la presión ejercida por la columna de lodo que llena el pozo, que es proporcional a su densidad, se controlan las presiones del subsuelo.

La densidad del lodo se define como el peso del lodo por unidad de volumen. En el taladro se llama "peso del lodo" a la densidad. La densidad depende de la cantidad y gravedad específica del líquido dispersante y de los sólidos en suspensión, y se mide comunmente en las siguientes unidades: 1) Gravedad Específica, 2) Peso, en libras por galón, 3) Peso, en libras por pié cúbico, 4) Peso, en libras por barril, 5) Gradiente de presión (libras por pulgadas cuadradas por pié de altura.)

La densidad de los flúidos de perforación a base de agua, puede variar desde 8.33 libras por galón, o cuando el flúido es pura agua hasta 20, que es lodo cargado de materiales pesantes. Pero la densidad de los lodos comunmente utilizados durante la perforación bajo condiciones normales, es de 9 a 11.5 libras por galón. 29

Medición de la Densidad. Los aparatos utilizados para medir la densidad, se basan en el principio de constatar el peso de un volumen dado de lodo. Estos aparatos pueden estar graduados en diferentes unidades, pero el API recomienda que se gradúen solamente en dos escalas, que den el peso en libras por galón y en libras por pié cúbico, pudiendo incluirse la graduación de gradiente de presión.

Los aparatos más usados en la industria son:



- A. En el laboratorio, donde se requieren mediciones exactas, se usan balanzas de precisión, en donde se pesa un envase vacío, y luego conteniendo un volumen determinado de lodo en su interior.

Resultados: al restar las dos lecturas anteriores, se obtiene el peso del lodo, y si se divide por su volumen, conseguimos su densidad.

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

$$D = \frac{(a - b)}{V} \frac{\text{gramos}}{\text{cm}^3} \text{ o } \frac{\text{Kgs.}}{\text{litro}}$$

D = densidad

a = peso del envase con el flúido, en gramos

b = peso del envase, en gramos

v = volumen del lodo pesado, centímetros cúbicos

Este tipo de medición casi nunca se emplea, salvo en ciertas investigaciones que requieren medidas muy precisas. ²⁹

B. En el campo se usan principalmente dos aparatos: el hidrómetro y la balanza "Baroid"; aparatos en los cuales se pueden lograr mediciones con una exactitud de 0.1 libras por galón.

El Hidrómetro

Este aparato consta de un flotador que puede ser de vidrio o de metal. Este flotador tiene en su parte superior un vástago graduado y una cámara removible, generalmente plástica en su parte inferior, que se llena del lodo a probar. El vástago debe ser hueco y tiene en su parte superior un tornillo removible para introducir o sacar pesas (municiones) para facilitar su calibración. Aparte, como complemento del aparato, hay un cilindro metálico que se llena de agua para sumergir el flotador. Fig. 1

Funcionamiento.² 1. Se llena el envase de flotación con agua dul

ce a una temperatura aproximada de 70°F.

2. Se desenrosca el depósito del lodo del cuerpo del flotador, y se llena con el lodo que se va a probar volviéndose a colocar en su sitio. Se cuida de no atrapar burbujas de aire. Luego se limpia el lodo sobrante que tenga por fuera el hidrómetro, si lo hubiera.

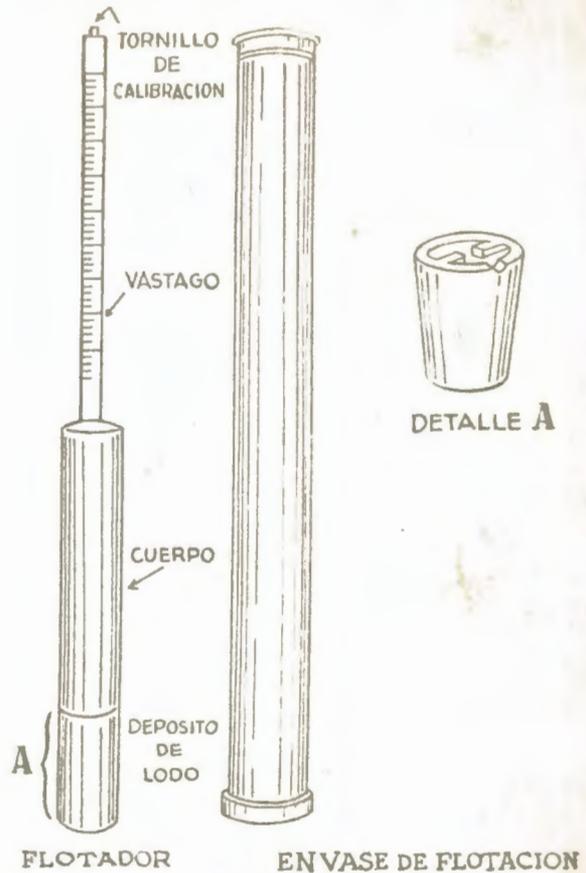


FIG 1 • HIDROMETRO •⁵⁷

3. Se coloca el flotador en el cilindro de flotación y
4. Se lee la densidad del lodo en el nivel indicado por la superficie del agua sobre la escala del vástago.

Calibración del Aparato. ²⁹

1) Se llena el envase de flotación con agua fresca; 2) Se llena el recipiente plástico con agua dulce, luego se enrosca al flotador y se coloca en el recipiente de flotación, 3) Se lee la escala graduada el nivel donde hace contacto con la superficie del agua 8,34 libras por galón o 62.4 libras por pié cúbico, 4) En caso que se lea menos se le añade peso (municiones) por la parte superior del vástago, hasta conseguirse la lectura deseada. Si la lectura es mayor se le hace

lo contrario.

Balanza Baroid

Como puede observarse, Fig. 2, la balanza es de construcción sencilla. Consta de un vástago que tiene en uno de sus extremos un envase de volumen constante para el lodo. La tapa del envase tiene un agujero central que permite al exceso de lodo ser desalojado. En el otro extremo tiene otro envase también cilíndrico, pero de menor diámetro donde se colocan las pesas (municiones)

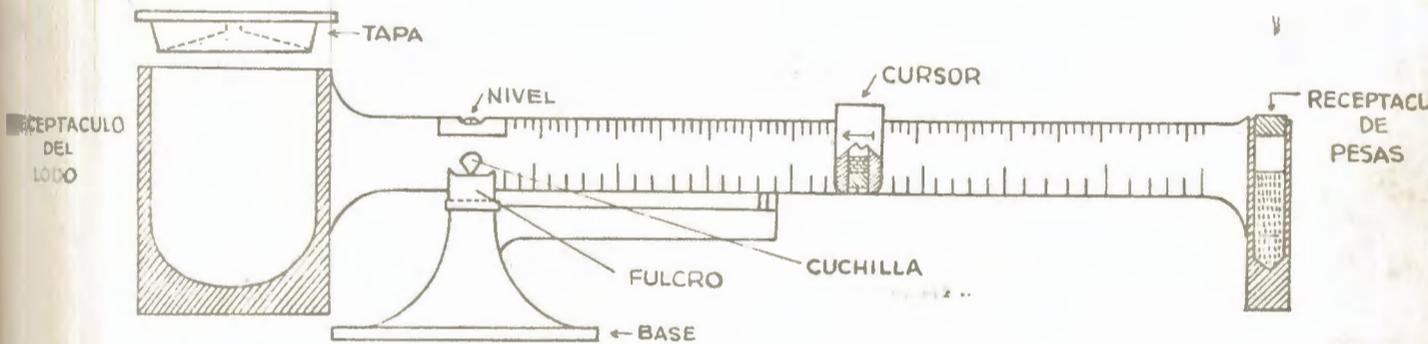


FIG. 2 · BALANZA DE LODO · 58

para hacer la calibración. El vástago descansa con su cuchilla sobre el fulcro, conectado a la base. Además, tiene un nivel en su parte superior y un cursor que se corre sobre la escala graduada del vástago hasta lograr el equilibrio de la balanza, indicando sobre la escala el peso del lodo.

- Manejo. ² Suponiendo que el instrumento esté calibrado; 1) Se limpia bien el recipiente y se llena con la muestra de lodo, 2) De inmediato se coloca la tapa del recipiente y se lava bien

el exceso que ha salido por el orificio, 3) Se acomoda la balanza de manera que su cuchilla descansa sobre el fulcro. Luego se mueve el cursor sobre el vástago, hasta que el nivel indique la posición horizontal, y 4) Se lee la densidad indicada por el cursor sobre las escalas del vástago.

Calibración.² Se llena el recipiente del lodo con agua dulce y limpia, se coloca el cursor sobre la lectura de 8,34 libras por galón y luego se quita o añade pesas hasta lograr el centrado de la burbuja del nivel.



ECA FICOT
LUPOL

2. VISCOSIDAD

La viscosidad de un líquido es la resistencia interna que ofrece dicho líquido al flujo. Por lo tanto, un flúido de alta viscosidad ofrece mayor resistencia al flujo, que uno de baja viscosidad. Los flúidos ordinarios como el agua, tienen una viscosidad constante a una temperatura y presión dada. Sin embargo, una suspensión coloidal, como el lodo, no tiene viscosidad constante, sino que varía con la magnitud de la agitación. (9)

Cuando el lodo circula a baja velocidad, este exhibe mayor viscosidad que a velocidades mayores. La viscosidad se mide generalmente en centipoises, que es la centésima parte de un poise. Un líquido tiene una viscosidad de un poise, cuando al aplicar una fuerza de una dina a un plano móvil de un centímetro cuadrado, situada a un centímetro de altura de un plano fijo, se desliza con una velocidad de un centímetro por segundo. En la práctica, la viscosidad se mide en unidades relativas, que pueden convertirse en unidades convencionales utilizando las curvas de calibración del viscosímetro.

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 fosos de asentamiento, y 9) las ca-

características de gelatinización.

La viscosidad excesiva causa una serie de inconvenientes entre los cuales se destacan: 1) que el material suspendido en el lodo no se asienta en los fosos, 2) el bombeo del lodo se hace difícil, y 3) el gas disuelto por el lodo no escapa fácilmente. La viscosidad baja hace que el fluido no tenga la capacidad necesaria de transporte.⁴⁹ La viscosidad intrínseca del lodo depende de la cantidad y características de las sustancias suspendidas y del medio dispersante.

En general, cuanto mayor sea el porcentaje de sólidos suspendidos, mayor será la viscosidad, principalmente si los sólidos son bentoníticos, los cuales desarrollan mayor viscosidad que la sílica, la barita y la hematita.

La diferencia entre las dos clases anteriores de sustancias se explica tomando en cuenta el efecto de atracción y repulsión electroquímica entre las partículas. La acción de las sustancias reductoras de la viscosidad se explica porque tales sustancias saturan las valencias libres de las partículas, disminuyendo por consiguiente las fuerzas electroquímicas, y aumentan la movilidad.
27, 34, 39, 49.

Medición. En el campo la viscosidad se mide principalmente con el embudo Marsh y en el laboratorio, con el viscosímetro S. or
Mar.

Embudo Marsh

Como puede observarse, Fig.3 este instrumento consta simplemente de un embudo, cuya capacidad es de 1500 centímetros cúbicos. Tiene 12 pulgadas de altura, 6 pulgadas en su diámetro superior y en la parte inferior lleva una boquilla de 2 pulgadas de largo y $\frac{3}{16}$ pulgadas de diámetro interno. En la parte superior

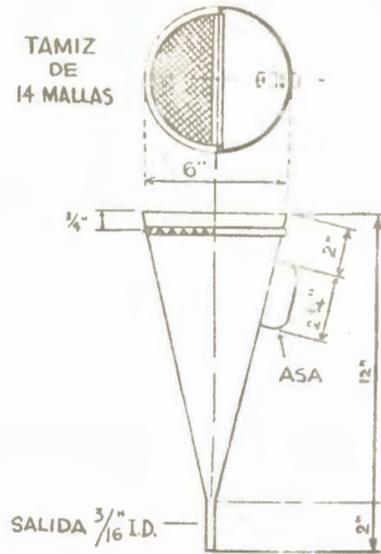


FIG.3 · EMBUDO MARSH⁴⁹

tiene un tamiz de 14 mallas que cubre la mitad del círculo, a fin de colar las partículas gruesas que contiene el lodo. El tamiz está a $\frac{3}{4}$ de pulgada del borde superior del embudo. El asa, de $2\frac{3}{4}$ pulgadas permite mantenerlo en posición de trabajo y está soldada al embudo a una distancia de 2 pulgadas de su borde superior. El aparato tiene como equipo complementario una taza blanca de peltre, graduada internamente en centímetros cúbicos.

Manejo. Con el embudo en posición normal se cubre el orificio de salida y se llena el embudo de lodo por el tamiz, hasta tocar su fondo. La capacidad del embudo a este nivel es de 1500 cm^3 . Luego se destapa el orificio y simultáneamente se mide el tiempo requerido para desalojar 946 cm^3 de lodo o $\frac{1}{4}$ de galón. La viscosidad así medida se da en segundo de viscosidad Marsh.

Hay que informar el tipo de medición efectuada, pues existen varias: 1) para 1500 cm³ de fluido en el embudo y se vacía 1/4 de galón (946 cm³) (método recomendado por el API), 2) para 1500 cm³ de fluido y se vacían 1000 cm³ y 3) para 500 cm³ de fluido y se vacían los 500 cm³. Haciendo un estudio comparativo entre estas medidas, se tiene que el agua, a temperatura de 70 a 80°F, acusa las siguientes lecturas de viscosidades: 26, 28 y 12 segundos respectivamente.

Viscosímetro Stormer

Este instrumento, cuyo nombre se debe a su inventor, se usa en las mediciones precisas de viscosidad y gelatinización del lodo. Aunque el aparato no se adapta para su utilización en el campo, posee muy buenas características que hacen que el instrumento sea de uso frecuente, principalmente en el laboratorio. Entre sus características se cuentan: simplicidad de operación, precisión, duplicabilidad de las lecturas, operaciones rápidas, facilidad de limpieza y disminución del efecto del esfuerzo de la gelatinización, porque la viscosidad es medida bajo condiciones de agitación.

La Fig. muestra las partes principales del viscosímetro Stormer que son: un rotor conectado a través de dos engranajes a una cuerda a la cual pueden imponérsele pesos variables. La adición de peso sobre la cuerda causa rotación del rotor y el

número de revoluciones es medida por el tacómetro. El envase del lodo está dispuesto dentro de otro mayor, que sirve de baño para mantener el lodo a una temperatura constante; si se desea, el conjunto puede ser bajado o subido, y es fijada su posición por medio del tornillo de fijación.

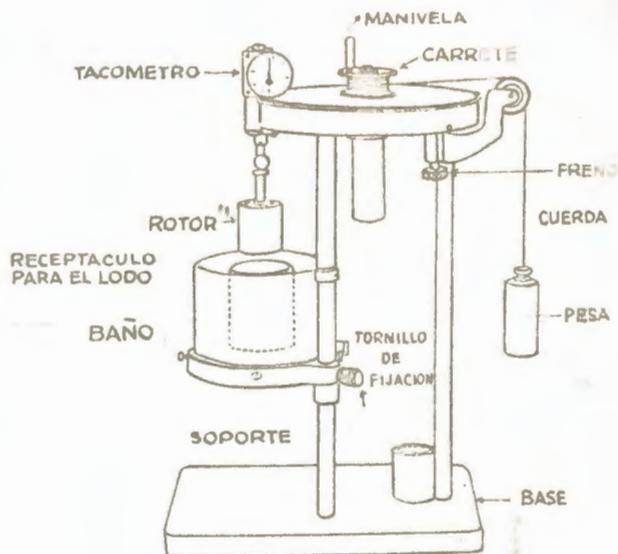


FIG. 4 - VISCOSIMETRO STORMER⁵⁸

El movimiento de los engranajes es controlado por un freno montado en posición fácilmente accesible debajo de la caja de engranaje. Un pequeño carretel, con su manivela, se encuentra en la parte central superior de la caja de engranaje, a fin de girar el rotor a mano o enrollar la cuerda de las pesas.



El viscosímetro Stormer es un instrumento de tipo torsional. En el eje del rotor existen dos momentos actuantes opuestos. La viscosidad del lodo que rodea al rotor del aparato, produce un momento torsional opuesto al suministrado por las pesas que cuelgan de la cuerda del instrumento. Luego se toma como valor relativo de la viscosidad el peso en gramos de las pesas, que produce un momento torsional suficiente para vencer al momento debido a la viscosidad del lodo, y hacer que el rotor gire a una velocidad constante dada (generalmente 600 r.p.m.)

BIOTECA FIOT
ESPOL

1) Se llena el envase hasta 0,635 cms. de la boca

del mismo, se atornilla el rotor a su eje y se ajusta el el ba-
ño de agua en forma tal, que cubra un poco más de la mitad del
recipiente. Si la muestra contiene material grueso, el lodo es
pasado a través de un tamiz de 20 mallas antes de medir su vis-
cosidad, 2) luego se coloca el envase del lodo en el baño y se
introduce el rotor, 3) se agita el lodo girando el rotor a mano,
4) se pone el freno y se añaden pesos a la cuerda para que gire
600 r.p.m. o una vuelta del tacómetro en 10 segundos, 5) se suel-
ta el freno, se agita el lodo, permitiéndole al rotor hacer de
15 a 25 revoluciones; luego se mide el tiempo requerido para que
el motor gire 100 revoluciones, 6) si este tiempo no es 10 segun-
dos se ajusta el peso sobre la cuerda y se repiten los pasos 3 y
4, hasta lograr que el rotor gire las 100 revoluciones en 10 se-
gundos por las pruebas sucesivas con el mismo peso, 7) el número
de gramos que representa el peso necesario para cumplir el paso
6, da la viscosidad en centipoises usando la carta de calibra-
ción.

Calibración. Los viscosímetros de rotor proporcionan datos
que no son valores reales de viscosidad, sino valores relativos
que pueden ser usados para estimar la viscosidad verdadera, usan-
do la carta de calibración del instrumento.

El instrumento se calibra utilizando flúidos gelatinosos de
viscosidades conocidas, obteniéndose las lecturas en gramos del
Stanton correspondiente a las viscosidades conocidas de los

flúidos respectivos. Estos valores son llevados a un papel cuadriculado para obtener la curva de calibración del aparato. La calibración debe hacerse por lo menos dos veces al año.

Los líquidos no gelatinosos utilizados para la calibración deben dar un amplio margen de viscosidades. Entre las soluciones utilizadas se cuentan las de azúcar, aceites o mezclas de kerosen y tetracloruro de carbono, agua con glicerina, y otras. Para determinar las viscosidades verdaderas de la solución se utiliza el viscosímetro de Oswald.

Sheely* ha preparado una tabla para la elaboración de soluciones de viscosidad constante de glicol en agua destilada, que facilita la calibración del instrumento.

Se ha estudiado con insistencia la relación entre la viscosidad Marsh y Stormer. Entre estos estudios se cuenta el presentado por Owin,⁴⁷ quien usó 26 tipos de lodos, de 8.42 a 11.6 libras por galón.

* Compositions and Properties of Oil Well Drilling Fluids - Rogers p. 98

3. PERDIDA DE FILTRACION

Como resultado de la presión diferencial existente entre el pozo y las formaciones perforadas, la parte líquida del lodo trata de fluir a la formación y los sólidos se depositan sobre la pared del pozo formando el revoque.

Las características de filtración de un lodo pueden ser estudiadas bajo condiciones de filtración denómica o estática.

Filtración Denómica. Este tipo de filtración es el que más se ajusta a las condiciones reales del pozo. En pruebas experimentales, con aparatos diseñados especialmente, se ha logrado observar que cuando más alta es la rata de flujo del lodo, mayor será la cantidad de filtrado.

El lodo fluyente rompe y erosiona la capa gelatinosa de bajo esfuerzo de corte transitoria entre el revoque mismo y el lodo fluyente. A medida que el revoque va aumentando de espesor el gradiente de presión a través de él disminuye, y la presión sostenedora del revoque aumenta hasta llegar a un límite en que el esfuerzo de corte hidráulico es equilibrado por ésta presión. Al lograr este equilibrio el espesor del revoque y la cantidad de filtrado se hacen constantes. ²⁵

Filtración Estática. Este tipo de filtración se efectúa cuando el lodo está inmóvil, condición que no se adapta a la rea

lidad del proceso, pero es el tipo standard de prueba recomendada por el API.

Observando ambos procesos de filtración, se nota que en los dos casos las ratas de filtración inicial son similares, pero con el tiempo la filtración dinámica se hace constante, mientras que la filtración estática continua disminuyendo. Los valores de estas filtraciones no ofrecen correlación porque el lodo de más baja filtración API no dá la más baja filtración dinámica. 25

Representación Gráfica de la Pérdida de Filtración API.

Para hacer una explicación más clara de las representaciones gráficas de la pérdida de filtración, se darán las ecuaciones de filtración. Por investigaciones se ha determinado que la ecuación diferencial ² de la pérdida de filtración es la siguiente:

$$\frac{d Q_w}{dt} = \frac{K^2 P}{M Q_s} = \frac{K^2 P R}{M Q_w}$$

- Q_w - cantidad total de agua filtrada en un tiempo t.
- Q_s - cantidad total de sólidos depositados en un tiempo t
- K - constante característica del lodo
- M - viscosidad del filtrado
- R - relación entre $\frac{Q_w}{Q_s}$

Por la integración de la ecuación diferencial anterior se tiene:

$$Q_w^2 = \frac{K^2 \cdot P \cdot R \cdot t}{M} ; \quad Q_w = \sqrt{\frac{P \cdot R \cdot t}{M}} \cdot K$$

Esta fórmula asume que el revoque no es compresible y la validez de la ley de Darcy. Si la presión y la temperatura del proceso de filtración permanecen constantes, la representación gráfica de la cantidad de filtrado con respecto a la raíz cuadrada de t, dará una línea recta en papel cuadriculado, Pero en la mayoría de los casos no resulta una línea recta y se ha observado que ocurre un error constante en el volumen de filtrado. Algunas veces se observa una ganancia o una pérdida anormal del filtrado al iniciarse la prueba, y se ha explicado que la ganancia anormal se debe a la rotura del papel de filtro; y que la pérdida inicial se debe, a que primero es necesario llenar con filtrado el espacio existente debajo del papel filtro, antes de ocurrir la salida de la primera gota.

Si se representa gráficamente Q_w^2 vs. tiempo, el error inicial es aumentado de tal manera que transforma la recta en una curva. La representación del Q_w vs. la raíz cuadrada del tiempo, el error persiste sin ser aumentado. Entonces resultará una línea recta afectada de un error constante, tal error puede ser encontrado por la intersección de la línea recta con el eje de las Q_w .

Para mayor lucidez, la representación se puede hacer en un papel log-log, (Q_w vs. t) y resultará una verdadera línea recta. La única dificultad que se presenta es la lectura de las escalas y no puede determinarse el error de Q_w .

Efecto de la Temperatura en la Filtración. Puede observarse en la ecuación anterior que la cantidad de filtrado es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la viscosidad del filtrado; pero la viscosidad es a su vez inversamente proporcional a la temperatura, lo que explica la razón por el cual la cantidad de filtrado aumenta con el incremento de la temperatura. Por ejemplo, observándose la TABLA 1, se observa que si la temperatura se aumenta de 20 a 100°C, permaneciendo constante los otros factores la cantidad de Filtrado a 100°C es 1.88 veces mayor que 20°C.

Se ha encontrado que en la mayoría de los casos esta relación se cumple, pero existen lodos que no la cumplen y se ha explicado que tal anomalía se debe al efecto floculante de las altas temperaturas.

TABLA 1 ✓

<u>°C</u>	<u>°F</u>	<u>u (sps)</u>	<u>u 0,5</u>
0	32	1.792	1.339
20	68	1.005	1.002
60	140	0.469	0.685
80	176	0.3565	0.597
100	212	0.2838	0.523

Efecto de la Presión. Se sabe ciertamente que la presión afecta de una manera directa la cantidad de filtrado. Esto indica que el volumen de filtrado será mayor cuando mayor sea la presión. Observando la ecuación de filtración se destaca que Q_w varía directamente proporcional a la raíz cuadrada de la presión. Si todos los otros factores permanecen constantes, la representación de Q_w vs. P en papel log-log tendrá que dar una línea recta.

Medición. Las pruebas de filtrado se hacen generalmente en filtro prensa ⁴⁹, a la cual se aplica una presión constante durante un tiempo limitado. Estos aparatos pueden agruparse en tres tipos: 1) Filtro-prensa de gas a baja presión, 2) Filtro-prensa hidráulico a baja presión, 3) Filtro-prensa de alta presión.

* Filtro-Prensa de Gas, a baja presión. Este instrumento consta de un soporte con su respectivo tornillo prensador que es accionado sobre la tapa del envase del lodo, que tiene un diámetro interno de 3 ± 0.07 pulgadas y una altura no menor de 25 pulgadas. La tapa superior tiene un orificio donde se conecta la manguera del gas a presión, y una empaadura de caucho en su parte inferior para evitar el escape de gas.

La tapa o fondo antes de enroscarse al cuerpo del aparato se coloca en su interior una empaadura de caucho, un tamiz, un papel filtro Whatman No. 50 y otra empaadura. Esta



A FICHA
OL

tapa tiene en su parte inferior un orificio central por donde sale el filtrado al exterior. El área de filtración expuesta es de aproximadamente 7 pulgadas cuadradas (16.16 cm²)

Toda esta parte del instrumento está hecha de un material resistente a las acciones corrosivas. También trae este aparato una probeta graduada y una bombona que contiene aire a 100 psia. con sus respectivos manómetros y manguera transmisora.

Manejo ²: 1) se lavan y se secan todas las partes de la celda de filtración y se colocan en el orden respectivo sobre la tapa de fondo los siguientes depósitos: una empaadura de caucho, un tamiz, un papel filtro y otra empaadura de caucho y se ajusta el conjunto al cilindro de la celda.

2) Luego se añade la muestra a probar hasta 1/4 de pulgada del borde superior y se coloca el conjunto en el soporte, luego se pone

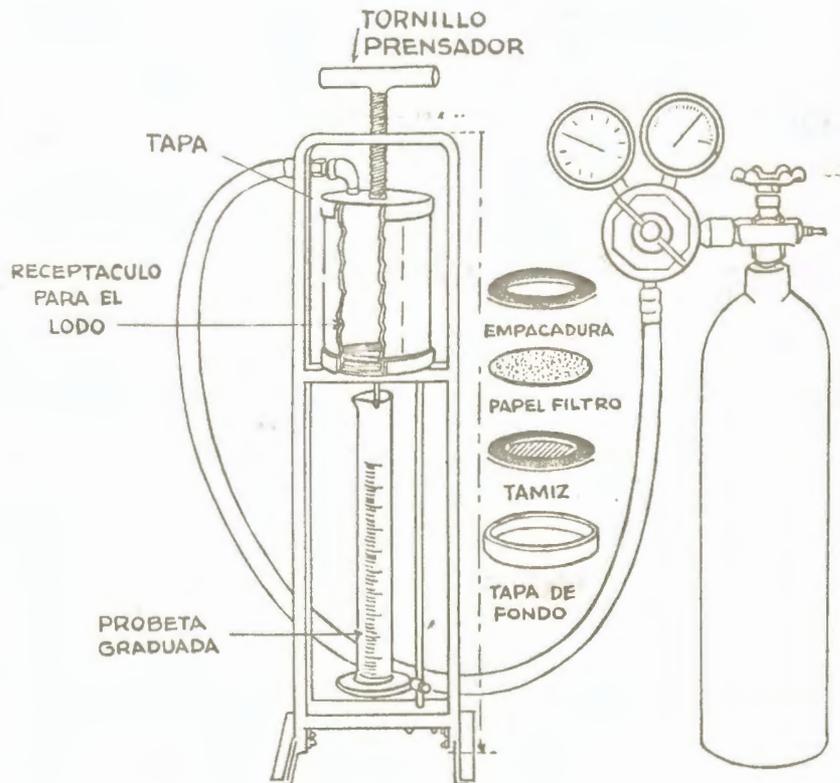


FIG. 5 · FILTRO PRENSA BAJA PRESION ·²

la tapa superior con su respectiva empaadura de caucho y se aprieta con el tornillo prensador.

3. Se coloca una probeta graduada debajo del orificio de drenaje y luego se abre la llave de la bombona, se pone el filtro a presión de 100 lbs/pulg² y se toma la lectura de la hora.
4. Al final de los 30 minutos de prueba se lee la cantidad de filtrado contenido en la probeta. Luego se cierra la válvula de la bombona y se desenrosca poco a poco el tornillo prensador, hasta reducir a cero la presión del sistema.
5. Para averiguar el espesor del revoque, se remueve la tapa de la celda y se saca del soporte, se remueve el lodo contenido en su interior, de inmediato se quita la tapa del fondo y también se saca el papel filtro con su revoque.
6. Luego se lava un poco el revoque y se aprecia su espesor y calidad.

Resultados:

- 1) La cantidad de filtrado después de 30 minutos se da en cm³.
2. El espesor del revoque se mide en m.m. o en 1/32 pulgadas.

Filtro Prensa a altas presiones y temperaturas. Para obtener medidas de esta propiedad más acorde a la realidad del caso, es decir, mediciones a altas presiones y temperaturas como las que se presentan durante la perforación, se han diseñado filtros prensas que trabajan a estas condiciones. El filtro prensa diseñado por Baroid, pueden soportar presiones superiores a 1000 libras por pulgada cuadrada y temperaturas mayores de 212°F. Este aparato consiste de una celda de filtración de 285 cm³ de capacidad y presenta 3.5 pulg² de área afectiva de filtración, y se encuentra colocado en un baño de temperatura regulable. La presión es aplicada por agua accionada por una bomba hidráulica. Contiene esta celda en la tapa superior de un termómetro que indica la temperatura de operación.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

4. LA GELATINIZACION

Cuando el lodo de perforación está en reposo por algún tiempo, se observa una tendencia a gelatinizarse. El conocimiento de esta propiedad es importante para saber si se presentarán dificultades en la circulación del lodo, después de mantener las bombas inactivas, si el ripio es depositado en los fosos de asentamiento o si se asentará sobre la barrena cuando se pare la circulación.

El esfuerzo de gelatinización, como el mismo término lo indica, es una medida del esfuerzo de ruptura de la consistencia gelatinosa en el lodo después de un período de quietud. El esfuerzo óptimo de gelatinización (ultimate gel strength) es el esfuerzo de gelatinización medida después que el lodo ha permanecido móvil lo suficiente para lograr su valor máximo.

La rata de gelatinización es el tiempo de formación de la gelatina. Si la consistencia gelatinosa es formada lentamente después que al lodo le es permitido permanecer inmóvil, se dice que la rata de gelatinización es baja; si sucede lo contrario, se dice que el lodo tiene una alta rata de gelatinización. 52

Un lodo que exhibe propiedades de gelatinización, se dice que es un lodo "thixotrópico". La diferencia entre un fluido ordinariamente viscoso y una suspensión "thixotrópica", puede ser

ilustrada por una comparación en las propiedades de la miel con las de un lodo de perforación de bentonita.

dp Si en dos recipientes iguales se depositan volúmenes exactos de lodo y de miel, y se colocan guijarros de igual tamaño y forma sobre la superficie de estos líquidos y se mide el tiempo que tardan los guijarros para llegar al fondo del recipiente, se observa que en la miel los guijarros llegan al fondo y en el lodo de perforación permanecen sobre la superficie sin hundirse. La diferencia de comportamiento se debe a la propiedad de gelatinización del lodo.

Esta propiedad del lodo depende de la concentración de materiales bentoníticos y de las diferentes clases de iones presentes. En cada caso su intensidad varía según el tipo y la concentración del material.

Este fenómeno se explica en las bentonitas por el hecho que estas sustancias tienen una estructuración micácea, es decir, las partículas individuales de estas sustancias tienen forma de placas muy delgadas y pequeñas. Cada placa tiene en su superficie cargas eléctricas negativas, mientras que las del borde dependen del punto donde se efectuó la ruptura de la partícula. De allí que las partículas se unirán borde a borde formando láminas de bastante amplitud. Estas láminas se repelen las unas a las otras, debido a los cargos similares existentes en su super-



ficie, pero a su vez se atraerán debido a fuerzas del tipo Van der Waals, hasta lograr la posición de equilibrio.

Estas placas son las que ofrecen la resistencia adecuada para mantener las partículas en suspensión. Las sustancias químicas alteran este comportamiento, aumentando o disminuyendo las cargas sobre la superficie de las partículas. 26, 49

Medidas de las Propiedades de Gelatinización

Diferentes métodos y aparatos se han ensayado en la Industria para medir esta propiedad de los lodos. La mayoría de ellos no son íntegramente satisfactorios. Entre los más usados se cuentan el embudo Marsh, el viscosímetro Stormer, y el Cizallómetro.

El Embudo Marsh

Este aparato al igual que los otros, da una idea relativa de la gelatinización del lodo. Su principio está basado en la medida de la viscosidad del lodo en el momento de ser agitado y después de haber transcurrido un cierto tiempo en reposo. La diferencia entre la primera y la segunda viscosidad da la medida del esfuerzo de gelatinización. El intervalo de reposo es por lo general de 10 minutos, y el esfuerzo se da en segundos.

Procedimiento. Se toma el lodo, se agita (con un batidor eléctrico, preferentemente), y se mide la viscosidad normal. La

misma muestra del lodo se vuelve a agitar y se coloca en el embudo Marsh, y se deja en reposo durante 10 minutos. Para evitar que el lodo salga del embudo hay que cuidarse de obturar el orificio, bien con el dedo o con un dispositivo adecuado.

Después de transcurrido el tiempo prescrito, se deja fluir el lodo y se mide el tiempo que transcurre en salir el volumen determinado de lodo. Generalmente, en la práctica, al embudo se le permite desalojar 1000 o 946 c.c. (equivalente a un cuarto de galón).

Interesa que el volumen desalojado sea igual en las dos pruebas de viscosidad. La diferencia de las dos viscosidades en segundo, da el esfuerzo de gelatinización Marsh. ← 2/3

El Viscosímetro Stormer

El viscosímetro Stormer es el más usado para las mediciones de las propiedades de gelatinización del fluido de perforación en el laboratorio y trabajos de investigación.

Medición del Esfuerzo de Gelatinización Inicial. ² El envase del lodo del viscosímetro se llena hasta un cuarto de pulgada de su borde superior. Si la muestra contiene aditivos gruesos, como los usados para controlar la pérdida de circulación, se filtra el lodo por un colador de 20 mallas. Luego se coloca el envase en el baño y se alza el conjunto hasta que el rotor se introduzca en el lodo. Se aprieta el tornillo fijador hasta

conservar el baño firme.

Dejando libre el freno, se agita la muestra con el rotor haciendo uso directo del carrete. Luego se mete el freno, y se espera que el lodo esté en reposo para sacarlo sin hacer girar el rotor. Si el rotor gira, el esfuerzo es igual al peso que cuelga de la cuerda, si no se añade hasta que el rotor gire un cuarto de vuelta aproximadamente. El peso en gramos es el esfuerzo inicial de gelatinización.

Determinación del Esfuerzo Optimo de Gelatinización. Se procede de igual manera como se midió la gelatinización inicial; a diferencia que después de agitado el lodo, se pone el freno y se deja que permanezca en reposo durante 10 minutos. Luego se saca el freno y se procede a determinar el mínimo peso que colgado de la cuerda y añadido en pequeños incrementos haga girar el rotor un cuarto de vuelta. En caso de que el procedimiento no se logre satisfactoriamente, debe repetirse el experimento.

Como antes, el peso en gramos da la fuerza óptima de gelatinización o la gelatinización a 10 minutos como normalmente se llama. Las lecturas obtenidas del viscosímetro Stormer en gramos, pueden ser convertidas a libras por pié cuadrado, multiplicando por el factor 0.00326. También se puede calcular la presión de bomba necesaria para iniciar la circulación por medio de la siguiente ecuación:

$$P = \frac{0.00326GS}{A}$$

P = Presión, en libras por pié cuadrado

G = Fuerza óptima de gelatinización, en gramos Stormer

S = Area superficial de contado, en pié cuadrado.

A = Area transversal en pulgadas cuadradas, donde se ejerce la presión.

Al aplicar esta fórmula a un pozo de perforación resulta:

$$P = \frac{0.00325GS_1}{A_1} + \frac{0.00326G}{A_2} (S_2 + S_3)$$

S₁ = Area lateral interior de la tubería de perforación, en pie cuadrado

S₂ = Area lateral externa de la tubería de perforación en pie cuadrado

S₃ = Area lateral interna del revestidor, en pie cuadrado.

A₁ = Area transversal interna de la tubería de perforación, en pie cuadrado

A₂ = Area transversal del espacio anular, en pie cuadrado.



BIBLIOTECA FICIT
ESPOL

El Cizallómetro

Este instrumento fué diseñado especialmente para hacer esta medición, Fig. 6, consta de un tubo de dura-aluminio de

3,5 \pm 0.01 pulgadas de largo y 1.4 \pm 0.05 pulgadas de diámetro interno y pesa 5 \pm 0.1 gramos.

También consta de un envase metálico que tiene una escala central graduada en libras por 100 pies cuadrados de área. Este instrumento es recomendado por el API para hacer la medición de esta propiedad.

- Manejo.
- 1) El lodo al ser probado es agitado y colocado en el envase del aparato.
 - 2) El tubo de dura-aluminio es colocado suavemente sobre la superficie del lodo, permitiéndole asentarse verticalmente hasta alcanzar el reposo.
 - 3) Luego la profundidad a la cuál se hunde el tubo

del aparato es tomada como medida del esfuerzo de corte.

Si el tubo se hunde totalmente en el lodo, el esfuerzo de corte es reportado como cero.

Si el tubo, por el contrario, no se hunde, el esfuerzo de corte es reportado como demasiado alto.

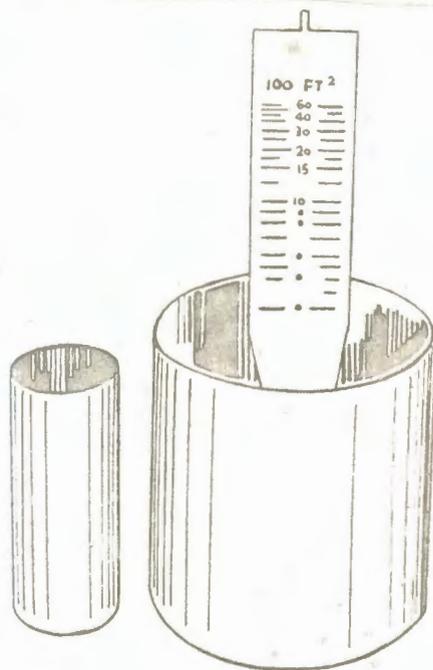


FIG. 6 · CIZALLOMETRO⁵⁸

Este instrumento no es usado en el laboratorio, donde

son deseadas medidas de suma precisión. Tiene cierto valor prác-

tico por su facilidad de manejo; es un instrumento pequeño, sin gran peligro a deteriorarse.

5. CONTENIDO DE ARENA

En flúido de perforación se clasifica como arena a las partículas sólidas que son demasiadas gruesas para pasar por el tamiz de 200 mallas.

El contenido de arena produce graves inconvenientes en el sistema de circulación. Su efecto es abrasivo, causa un rápido desgaste de las camisas, pistones, válvulas y asientos de la bomba de lodo, líneas del lodo, junta giratoria, kelly, tubería de revestimiento y otros dispositivos que están en contacto con él.

La excesiva cantidad de arena en el lodo puede causar tapamiento o restricción de ciertas partes del sistema de circulación. Esto es particularmente cierto durante un período de cese de la circulación del lodo, y cuando sus propiedades son tales que permiten el asentamiento de los sólidos.

El contenido de arena en el lodo no debe pasar de 5% por volumen. Para estimarlo se emplean el elutriómetro, el método del cedazo, la centrífuga y el método de asentamiento.

El Elutriómetro

Su funcionamiento se basa en que un fluido de densidad y viscosidad conocida, a flujo constante, transportará consigo material de una densidad dada hasta un cierto tamaño de sus granos.

El aparato consta de un recipiente para agua, de capacidad aproximadamente de cuatro galones, y está provisto de una entrada y una salida de líquido. El agua fluye en él a una rata constante. El recipiente posee una salida en el fondo controlada por una llave de paso, esta llave lleva conectado un tubo de caucho que la comunica con un tubo delgado llamado cánula, que tiene ajustado en su extremo inferior un orificio de 0.1015 pulgadas id. El tubo de caucho es de una longitud tal que el orificio queda a una altura de 1/4 de pulgada del fondo del tubo de elutriación.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

El tubo de elutriación más comúnmente usado es el de capacidad, especialmente calibrado para leer directamente el porcentaje de arena cuando se emplea una muestra de 75 c.c. El adelgazamiento inferior del tubo de elutriación permite una lectura más aproximada del contenido de arena.

El diámetro de la parte más ancha de éste, es tal que permite al agua fluir a una velocidad de 4.9 m/seg. y la rata de flujo debe ser 470 c.c. por minutos. Además, debe colocarse en un soporte metálico. 49

Funcionamiento. 1) Se llena

el recipiente de agua, hasta que se rebose a flujo constante por su salida lateral, asegurando así una presión hidrostática constante sobre el orificio de salida. 2) Se regula la altura del orificio, por medio del tubo de goma y los tornillos

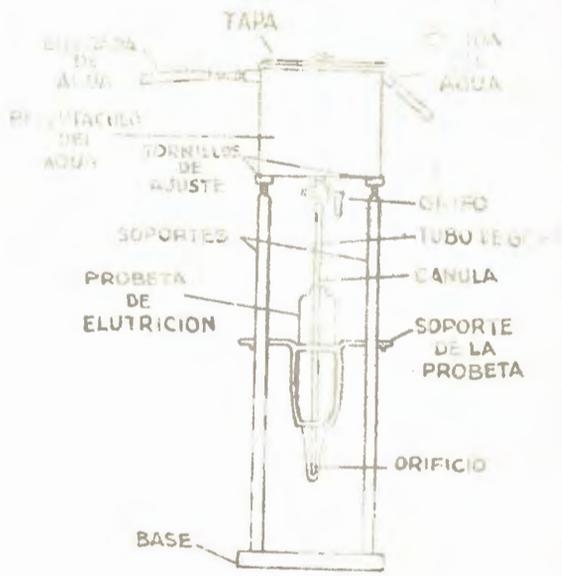
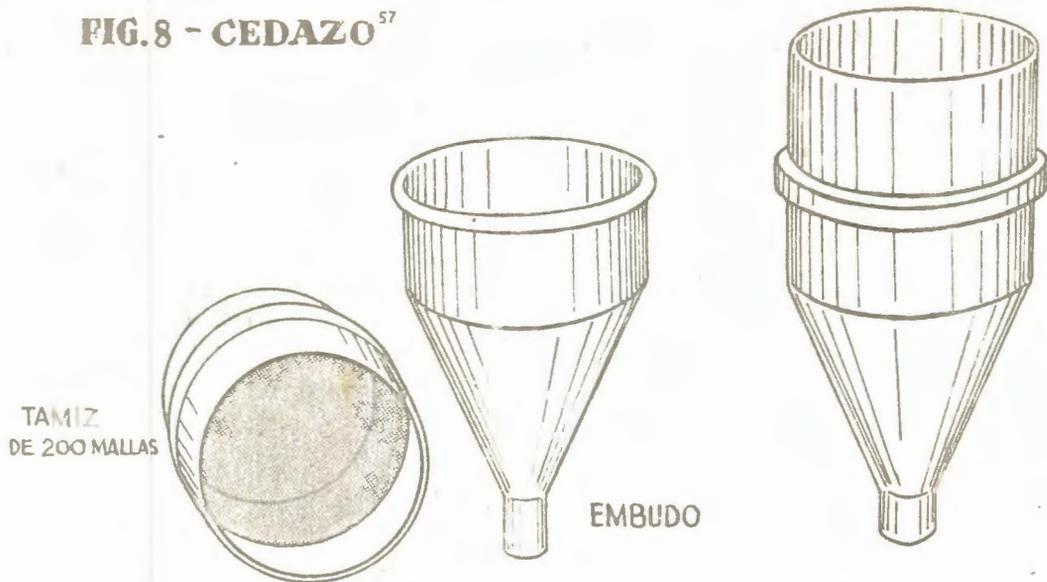


FIG.7-ELUTRIOMETRO

ajustados para mantenerlo a 1/8 pulgada del fondo del tubo de elutriación, asegurándose que el agua fluya a una rata de 476 c.c. por minutos, con la llave de paso abierta. 3) Se vierten en el tubo de elutriación 75 c.c. de la muestra y se diluye con agua hasta llenar el tubo. Luego se agita fuertemente y es colocado en su soporte. La llave de paso se abre parcialmente para permitir que el agua fluya lentamente en el tubo de elutriación. 4) Después que casi todo el material coloidal ha sido removido, la llave de paso se abre totalmente y el lavado continúa hasta que la turbidez haya desaparecido completamente. 5) Luego se cierra la llave de paso, la cámbula se remueve y se permite que los sólidos se depositen en el fondo del tubo. 6) La lectura de la escala que coincide con la superficie de sólidos se toma como el porcentaje de arena.

FIG.8 - CEDAZO⁵⁷



* Método de Cedazo

El cedazo es un aparato muy sencillo y fácil de manejar, de allí que sea el más usado. Consta de un cilindro de 2 1/4 pulgadas de diámetro, metálico o plástico, que contiene en su parte central un tamiz de 200 mallas. Un embudo del mismo material que se ajusta a cualquier extremo del cilindro, y una bureta graduada de 0 a 20%, en la cual se lee directamente el porcentaje de arena por volumen. Fig. 8

Funcionamiento. 1) El lodo se vacía al tubo de vidrio hasta la marca "lodo" y se diluye con agua. Se agitan y se vierten en el cedazo, 2) Luego se lava el tubo con un poco de agua y se vierte el líquido en el mismo cedazo. Se le agrega más agua al cedazo hasta que la arena quede limpia. Se coloca el embudo sobre la parte del cilindro que contiene la arena y sobre el embudo se pone la bureta graduada y se invierte el conjunto.

3) La arena cae a la bureta graduada por intermedio del embudo. Luego se agrega un poco de agua para asegurarse que no queda arena en el cedazo. 4) La lectura del tubo que coincida con el nivel de la arena es el porcentaje de arena por volumen.

Centrifugación

Se utiliza una centrifugadora similar a la usada en la determinación del porcentaje de agua y sedimento en el petróleo.

En el tubo de centrifugación, de forma cónica o de pera, se vierten 20 c.c. de lodo y 100 c.c. de agua como diluyente. Todo el contenido es agitado fuertemente. Luego el tubo con el lodo es puesto en la centrifugadora durante 3 a 5 minutos a una velocidad de 1.500 r.p.m.



BIBLIOTECA NAC.
REPUBLICA DE CUBA
ESPOL

Este método presenta el inconveniente de no ofrecer una gran exactitud en las lecturas. Si es utilizado, el resultado debe ser multiplicado por cinco para obtener el porcentaje por volumen de arena en el lodo.

Método de asentamiento. Este método es algo rústico pero muy rápido. Se usa un tubo de elutriación de 250 cm³ de capacidad, al cual se colocan 75 cm³ de la muestra y se diluye con agua hasta llenarlo. El lodo diluido se agita violentamente y se deja en reposo durante 30 segundos y se lee el volumen de sólidos asentado durante este período. La medida de tiempo empleada

es suficiente para que se asienten las partículas superiores de 200 mallas.

Cuando el lodo contiene mucho material pesante, las lecturas resultan demasiadas altas, debido al asentamiento de partículas de material pesante que son más finos de 200 mallas. Debido a que la densidad de las partículas es muy alta, éstas pueden asentarse con la misma rapidez que los sólidos de tamaños mayores de 200 mallas.

El ph indica la concentración de iones de hidrógeno y da una medida de la acidez o alcalinidad. Su valor es el logaritmo del recíproco de la concentración de iones de hidrógeno y se expresa en una escala que va de 0 a 14. Para la determinación del ph se usan colorímetros y medidores eléctricos.

Colorímetros. Está basado en el cambio de color que producen los ácidos y los alcalis sobre ciertas sustancias orgánicas (tintas). En la práctica los indicadores vienen en tiras de papel. El patrón de colores es determinado por cambio progresivo de tintas entre dos colores standard, que representan una oscilación de 2,5 ph. Este método da lecturas con una aproximación de 0,25 ph. No es muy exacto, pero es usado mucho en la práctica.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Para hacer la prueba se toma una tira del indicador y se sumerge en el fluido. Se nota el cambio de color y se compara con la escala de colores del grupo de donde se ha tomado la tira. Si no hay un color similar, se toma otra tira de otro grupo de indicadores y se repite la prueba hasta encontrar un tinte que corresponda al color de la tira usada. El ph se lee en la escala. 2,49

El Método Electrométrico. Se basa en la medición con un potenciómetro el voltaje generado entre dos electrodos sumergi-

dos en el todo.

El potenciómetro Beckman es un instrumento de gran sensibilidad y requiere una calibración previa con soluciones amortiguadoras, a fin de conocer los valores verdaderos de ph.

Las lecturas que dá este instrumento tiene una aproximación de 0.1 y algunas veces 0.05. Se requiere una corrección en caso de haber alta concentración de cloruro de sodio. 2,29



MECA FICT
SPOL

7. SALES DE LODO

Para lograr una interpretación satisfactoria del comportamiento del lodo, es necesario conocer su contenido de sales, ya que éstas afectan las propiedades de filtración, suspensión, viscosidad, etc. Sus análisis también ayudan en la determinación de posibles infiltraciones de agua al sistema.

Las sales que causan más dificultades en el lodo son: los cloruros, los sulfatos y el calcio, y por eso sus concentraciones son determinadas comunmente.

Cloruros

La presencia del cloruro de sodio en el lodo puede ser debida a la perforación de formaciones de sal o infiltraciones de agua salada al sistema. Cuando el contenido de cloruro es mayor de 6.000 r.p.m., es necesario tratarlo adecuadamente ya que esta sal aumenta la pérdida de filtración y la viscosidad hasta cierto grado de contaminación, porque luego se produce su reducción.

Medición. El método más usado es el volumétrico, que se basa en la titulación del filtrado utilizando nitrato de plata (Ag NO₃)

El conjunto de artefactos utilizados para la titulación del filtrado con nitrato de plata, son como sigue: una bureta graduada, una pipeta de 10 cm³, un matraz pequeño, solución de ni-

trato de plata que contenga 29.066 gramos por litro (un centímetro de la solución corresponde a 0.01 gramo de cloruro de sodio) indicadores como cromato de potasio (20 gramos por litro de agua) o fenoftaleína (un gramo por 100 cm³ de agua o alcohol)²⁹

Procedimiento.

- 1) Se mide de 1 a 10 cm³ de la muestra con la pipeta y se vierte en el matraz.
- 2) Luego se añaden unas gotas del indicador (fenoftaleína). Si toma un color rosado se le agregan unas gotas de H₂SO₄ hasta que desaparezca el color.
- 3) Se añaden de 4 a 5 gotas de cromato de potasio para dar un color amarillo a la muestra.
- 4) Usándose la bureta graduada se le añade al líquido en prueba gotas de solución de Ag NO₃, hasta que desaparezca el color original.

Porcentaje de cloruro = $\frac{\text{cm}^3 \text{ de nitrato de plata}}{\text{cm}^3 \text{ de la muestra}} \times 100$

Para expresarlo en partes por millón se multiplica el porcentaje de cloruro por 10.000

Observaciones. Para poder analizar la muestra es necesario neutralizar ciertas sustancias químicas.

- 1) Si el lodo ha sido tratado con soda cáustica. La muestra puede neutralizarse añadiéndole fenoftaleína y algunas

gotas de ácido nítrico o sulfúrico.

- 2) Si se ha usado mucho fosfato, el acetato de calcio puede ser utilizado como neutralizador.
- 3) En caso de haberse usado quebracho, el filtrado resulta muy rojizo, y para descolorarlo se pasa por carbón vegetal en polvo y luego se filtra para remover las partículas de carbón que tiene en suspensión.

Calcio

Las sales de calcio en el lodo son perjudiciales debido a que aumentan la pérdida de filtrado, la viscosidad, el pH y la rata de gelatinización. La contaminación puede tener lugar cuando se perforan formaciones de yeso, anhidrita y también durante la cementación. 29



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Análisis Cualitativo. 1) Se miden 5 cm³ de la muestra. 2)

Luego se le añade 1 cm³ de oxalato de amonio, de una solución de 35.5 gramos por litro. 3) La presencia de un precipitado blanco muestra el contenido de calcio.

Análisis Cuantitativo. Usando una solución standard de jabón

Este análisis requiere la utilización de los siguientes artefactos: una bureta graduada, un matraz, agua destilada, una solución standard de jabón (1 ml. de jabón = 1 mgr. de CaCO₃)

Determinación del factor espuma: de la solución de jabón y agua: 1) Se toman 50 cm³ de agua en el matraz y se añade 0,3 ml. de la solución de jabón y se tapa el matraz. 2) Luego se agita el contenido del matraz y si se forma una espuma persistente durante 5 minutos, se ha alcanzado el punto de espuma, 3) Si no sucede, se le agrega de nuevo solución de jabón y se repite el paso 2. 4) La cantidad de solución de jabón usada se llama "factor de espuma" y varía de 0,3 a 0,5 ml.

Determinación Cuantitativa. 1) Se toman 10 cm³ del filtrado y se disuelve en 40 cm³ de agua destilada y se vierten en el matraz. 2) Luego se le añade solución de jabón y se agita bien, hasta formarse una espuma que tienda a ser persistente, se agregan 0.5 ml. de la solución para constatar el punto final, si la espuma desaparece se considera que el punto final es falso. 3) En caso de usar más de 10 ml. de solución para la prueba. Se usa menos cantidad de filtrado y se disuelve en agua hasta alcanzar 50 cm³, y se comienza de nuevo el análisis .

$$\text{p.p.m.} = \frac{(\text{ml. de jabón usada} - \text{ml. del factor espuma})}{\text{ml de la muestra}} \times 100$$

8. CONTENIDO DE SÓLIDOS

Se ha observado que la viscosidad, la densidad, el esfuerzo de gelatinización y la pérdida de filtración de un lodo dependen principalmente de la cantidad, composición y estructura de su contenido de sólidos, y por ello se le presta suma atención a su control. Se habla de lodos de alto y bajo contenido de sólidos pero sin haberse establecido un límite de separación entre ellos.

Existen varios métodos para evaluar el contenido de sólidos de un lodo entre los cuales se cuentan: el de evaporación, el de destilación, y el de verificación gráfica.

Método de Evaporación

Se realiza el análisis utilizando una serie de utensilios entre los cuales se cuentan: un platillo de evaporación (de porcelana), un picnómetro, un envase graduado de 50 cm³ de capacidad y cierta cantidad de líquido (kerosene)

Procedimiento. 1) Se miden 50 cm³ del lodo y se depositan en el platillo de evaporación. Se lava con agua el residuo de lodo dejado en el recipiente medidor y esa agua se vacía también en el platillo. 2) Se evapora completamente el contenido del platillo. 3) Luego se llena el picnómetro de Kerosene hasta la marca cero. 4) Se vacían los sólidos en el picnómetro y se extrae el aire con una bomba de vacío. 5) Luego se mide el aumento de

volumen, y 6) Se pesa el picnómetro con los sólidos contenidos en su interior .

Cálculo y enumeración de los resultados. El aumento de volumen del kerosene en cm^3 multiplicado por dos da el porcentaje de volumen de sólidos. Se puede calcular el porcentaje de arcilla y material pesado, asumiendo que la gravedad específica de la arcilla y del material pesado (Baritina) son respectivamente 2.5 y 4.3, si se llama:

D - peso en gramos de 100 cm^3 de lodo

A - porcentaje de arcilla

B - porcentaje de material pesado

T - porcentaje total de sólidos

Se tiene que:

$$T = A + B \quad \text{1}$$

$$D = 2.5 A + 4.3 B + (100 - (A+B)) \quad \text{2}$$

Sustituyéndose 1 en 2 se tiene:

$$A = \frac{100 - 3.3T - D}{1.8}$$

Como T y D son conocidos, podemos calcular A y B

* Aparato de Retorta ² ✓

Este aparato presentado por la Baroid determina las cantidades de agua, aceite y sólidos contenidos en el lodo. La parte líquida de la muestra es destilada y condensada y sus volúmenes

pueden ser medidos. Luego por diferencia se determina el volumen de sólidos.

En este aparato pueden observarse las siguientes partes:

- a) La retorta propiamente dicha, que está formada por dos cámaras cilíndricas metálicas unidas entre sí por un tubo pequeño. Enroscado en la parte inferior de la cámara de destilación, se encuentra un pequeño receptáculo de 10 cm³ de capacidad, que se llena del lodo a probar. Este depósito tiene una tapa ajustable con un pequeño agujero circular en el centro. La parte superior de la cámara se llena de esponja metálica que hace las veces de torre de destilación. La otra cámara es un condensador.
- b) Un calentador eléctrico que va introducido en una pieza de cobre, transmite el calor por conducción a la cámara de destilación de la retorta, la cual va introducida en otro hoyo de la misma pieza.
- c) Un soporte que está formado por un bloque de asbesto, que a su vez actúa como aislante.
- d) Una bureta graduada, una espátula y un frasco conteniendo un líquido desmulsificante.

Funcionamiento. 1) Se levanta la tapa del bloque de asbesto y se extrae la retorta. Luego tomando la espátula como destornillador se desenrosca el depósito del lodo de la cámara de desti-

lación, 2) Se llena la parte superior de la cámara de destilación con la esponja metálica, se limpia y se llena de lodo el depósito. Se le pone la tapa permitiendo que el exceso de lodo salga por el agujero central de la tapa. Se remueve el lodo sobrante y cerciorándose que no queda aire dentro del depósito. 3) Luego se enrosca el depósito del lodo a la cámara de destilación y se coloca la retorta en su posición normal y se cierra la tapa del bloque aislador. 4) Se toma la bureta, se le añade una gota de desmulsificante, y se coloca debajo del tubo de salida de la cámara de condensación de la retorta. 5) Se enciende el calentador y se calienta el lodo durante 20 minutos, si la corriente es de 110 voltios. Si el voltaje es mayor, la operación puede efectuarse en 15 minutos (debe evitarse que la retorta alcance el rojo vivo) y 6) Se lee el volumen de agua y aceite condensados en la bureta.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Resultados.

A - porcentaje volumétrico de aceite = cm^3 de aceite $\times 10$

B - porcentaje volumétrico de agua = cm^3 de agua $\times 10$

C - porcentaje volumétrico de sólidos = $100 - (A + B)$

D - gramos de aceite = $A \times 0,8$

E - gramos de agua = $B \times 1,0$

F - gramos de lodo = libras por galón $\times 1,2$

G - gramos de sólidos = $F - (D + E)$

H - porcentaje de sólidos = $\frac{G}{F} \times 100$

CAPITULO III

ADITIVOS

1. MATERIALES PESANTES

Materiales pesantes son aquellos que se añaden al lodo, y cuya función es producir aumento de su densidad. En la práctica muchas sustancias han sido ensayadas con tal fin, pero las más usadas son: barita, óxido de hierro, y galena.

A-Barita ($Ba SO_4$)

Esta sustancia se emplea desde hace varios años. Es pulverizada y confeccionada bajo estricto control de laboratorio para que produzca un incremento máximo del peso y un mínimo incremento de la viscosidad del lodo. (5)

La barita es el material de uso corriente en la industria, atendiendo a una serie de razones técnicas y económicas. El sulfato ($Ba SO_4$), en estado natural tiene generalmente color blanco aunque puede presentar un color amarillento, azulado, grisáceo, debido a ciertas impurezas. Su peso específico varía entre 4,30 y 4,48 y dureza de 3° a 3,5. Puede presentarse en forma de cristales tabulares, pero generalmente está formando masas macizas; siendo inatacables por los ácidos y alcalis.

Ocurrencia: La barita para fines comerciales, suele encontrarse en dos formas, 1) terrones residuales, de la acción del

lavado, y 2) total o parcialmente reemplazando calizas y lutitas.

Preparación. El método utilizado para extraerla de las minas depende de varios factores: 1) tipo de depósito, 2) precio de la labor de extracción, 3) agua disponible, y 4) uso a que ha de destinarse el producto.

Después de la extracción los métodos utilizados para su manufactura están acompañados por procesos de fracturamiento, molição, flotación, secado, graduación y empacamiento.

La baritina dá buen resultado debido a su alta gravedad específica, que puede suministrar el peso deseado para controlar las presiones de las formaciones perforadas; además, exhibe buenas propiedades de suspensión, lo que hace difícil su asentamiento o separación del lodo, tampoco es corrosivo, lo que hace fácil su manejo; y finalmente no es abrasivo, eliminando las posibilidades de un fuerte desgaste del sistema de circulación.

Lodos de alta densidad, sin experimentar un aumento considerable de la viscosidad se obtienen con el uso de baritina. Un lodo a base de agua con el 2% de bentonita, con la adición de baritina, puede aumentar su peso hasta unas 20 libras por galón y de viscosidad, que hace factible su fácil bombeo; en contraste con un lodo de arcilla, cuyo peso máximo puede llegar a 11 libras por galón, sin que su viscosidad sea la deseada.

La barita rinde lodos de densidad relativamente alta, con la mínima cantidad de sólidos, provocando baja abrasividad y revoques finos: así, por ejemplo, un lodo bentonítico con barita de 10,9 libras por galón, contiene un 9% de sólidos, ahora, un lodo de arcilla del mismo peso, rinde un porcentaje de sólido de 17,4%.

Ocasionalmente, esta sustancia puede ser utilizada también 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 la barita al entrar y asentarse en las aberturas de las rocas las obstruye. Estos tapones son hechos, mezclando barita con agua hasta adquirir un peso de 22 libras por galón, luego es fácilmente bombeado y colocado en el fondo del pozo. El material asentado pierde parte del agua por filtración a la formación, formando de esta manera un verdadero tapón fácil de remover por lavado, sin afectar las propiedades del lodo, como lo haría el cemento.

Especificaciones: Se han elaborado una serie de especificaciones para la confección de la barita como agente pesante. Estas quizás la más aceptada es la siguiente:

A - Análisis Químico

Sulfato de bario, contenido mínimo	99.00%
Máximo contenido de constituyentes sólidos	0.01%
Máximo contenido de arcilla	1.00%
Máximo contenido de carbonatos solubles	0.10%



BIBLIOTECA FICTICIA
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
BOGOTÁ COLOMBIA

7

B - Propiedades Físicas

- 1) Gravedad Específica: 4,25 o más
- 2) Fineza: el 95% debe pasar a través de un tamiz de 325 mallas, y el 99,95% a través de un tamiz de 200 mallas.
- 3) Efecto sobre la viscosidad: la viscosidad de una suspensión de 4% de bentonita por peso y elevada a una densidad de 15 libras por galón, por la adición de material pesante, no debe ser mayor de 40 centipoises.
- 4) Efecto sobre el pH: cuando la suspensión standard es elevada a un peso de 15 libras por galón, por la adición de barita, este valor no debe bajar o subir más de 1,5 y 1 unidad de pH, respectivamente.

C - Método de Prueba

Se vacían cuatro gramos de bentonita en 93 cm³ de agua destilada. La suspensión es agitada y se le determina su viscosidad. Después se le agrega suficiente material pesante hasta adquirir un peso de 15 libras por galón a temperatura ambiente. Luego la suspensión es agitada de nuevo a altas velocidades durante 5 minutos y se determina su viscosidad y pH.

Suponiendo que la barita tenga gravedad específica de 4,3, las fórmulas ⁴⁹ para calcular el peso que se debe agregar a un barril de lodo para aumentar su densidad de W_1 a W_2 y el aumento consiguiente de volumen, son las siguientes:

$$W_3 = \frac{1505 (W_2 - W_1)}{35.8 - W_2}$$

$$V_3 = \frac{(W_2 - W_1)}{35.8 - W_2}$$

W_1 - densidad inicial del lodo, lbs/gal.

W_2 - densidad final del lodo, lbs/gal.

W_3 - peso adicionado, libras

V_3 - volumen del material adicionado, barriles

Estas fórmulas son representadas gráficamente en la Fig. 9. en él podemos conocer directamente la cantidad de barita necesaria para aumentar la densidad de un barril de agua a un peso dado, y su volumen final .

Además se puede hacer el mismo cálculo para subir la densidad de W_1 a W_2 , por diferencia de las lecturas obtenidas del gráfico.

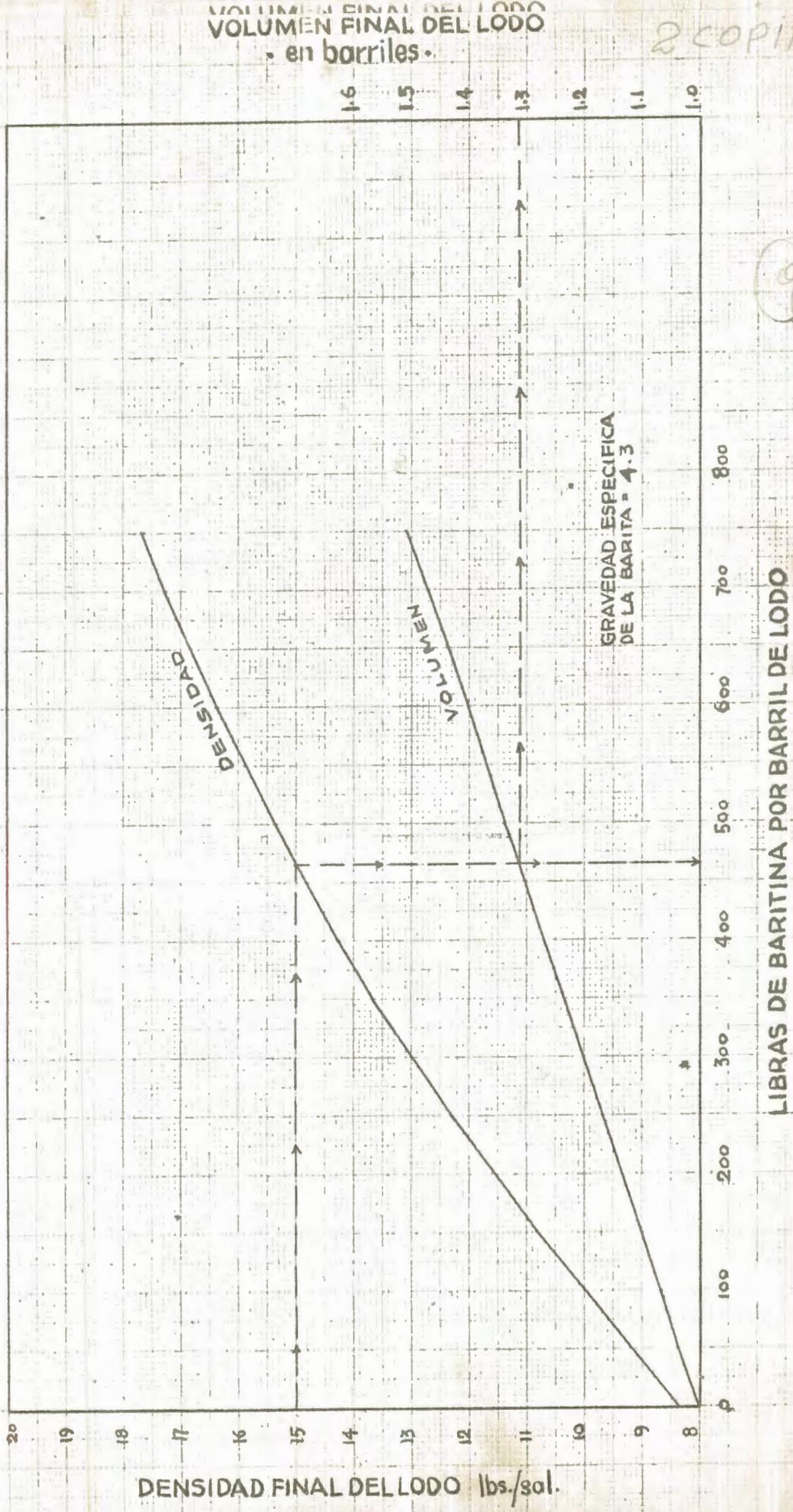
B - Oxido de Hierro ($Fe_2 O_3$)

Este material fué usado por primera vez como material pesante por Stroud ⁴⁹, en 1921. Desde entonces fué empleado intensa-



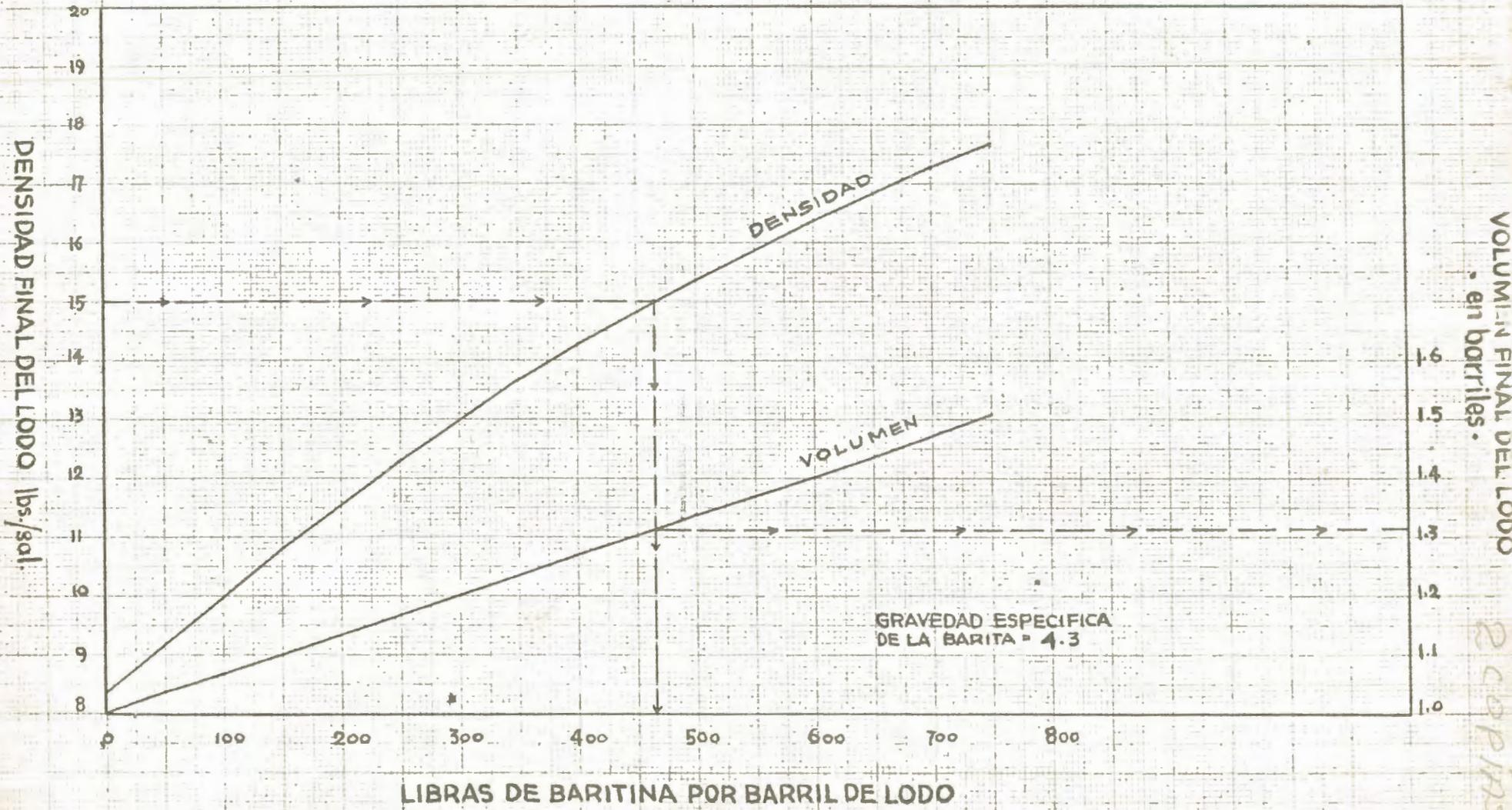
ECA FIG 9
POL

49
FIG. 9 · EFECTO DE LA BARITINA EN LA DENSIDAD ·



9

FIG. 9 • EFECTO DE LA BARITINA EN LA DENSIDAD ⁴⁹



VOLUMEN FINAL DEL LODO
en barriles.
2 COP/MS

mente en las perforaciones de los campos gasíferos de alta presión, principalmente en Arkansas y Louisiana, hasta que apareció la barita en el mercado. Al correr del tiempo la utilización del óxido de hierro como material pesante ha disminuido, y actualmente sólo se utiliza en casos especiales; cuando se necesita lodo de densidad mayor de 18 lbs. por galón, sin incremento apreciable de su viscosidad.

Aún más, la gente de taladro prefiere la barita al óxido de hierro, debido a que este último mancha la ropa, la piel y al mismo equipo, de un color rojo obscuro, difícil de remover.

En el mercado se ofreció un óxido de hierro obtenido de barita ($Fe S_2$), ³⁷ pero presentó grandes inconvenientes debido a su contenido de azufre.



BIBLIOTECA FICTICIA
ESPOL

En la actualidad el óxido de hierro obtenido proviene de la hematita. En la naturaleza se encuentra en forma de cristales prismáticos o romboidales,, algunas veces arreglados en rosetas llamados rosas de hierro, pero por lo general se presenta formando rocas macizas. No presenta clivaje, y su fractura es concoidea o irregular. Tiene una dureza de 5,5 a 6,5 y su gravedad específica es de 4,9 a 5,3, su color es rojo o gris.

La hematita puede tener impurezas de óxido ferroso, óxido de magnesio, ácido fosfórico, sílice y arcilla. Es fusible y de-

muestra características magnéticas cuando es calentado sobre carbón.

Si el óxido de hierro, tipo comercial, tiene una gravedad específica de 4,70, se puede calcular la cantidad deseada para aumentar el peso del lodo de W_1 a W_2 y el aumento respectivo de volumen

$$W_3 = \frac{1643 (W_2 - W_1)}{39.2 - W_2} \text{ libras}$$

$$V_3 = \frac{W_2 - W_1}{39.2 - W_2}$$

W_1 - densidad inicial del lodo, libras por galón

W_2 - densidad final del lodo, libras por galón

W_3 - peso adicionado, libras

V_3 - volumen del material adicionado, barriles

La fig. 10 da directamente la cantidad de óxido de hierro ($D=47$) que se necesita adicionar a un barril de agua para llevar su densidad a un valor dado y su volumen final.

La hematita como material pesante, ofrece ventajosas características. En un lodo de un peso dado, por ejemplo de 16 libras por galón, ocasiona menos viscosidad que la galena y la barita. Sin embargo, las características del revoque no son tan buenas, y es un poco más abrasivo que los otros materiales.

C - Galena (PbS)

Para la perforación de formaciones gasíferas a alta presión fué necesario buscar un material más pesado que el óxido de hierro, y de allí el uso de la galena.

La galena es un sulfuro de plomo (Pb S), que se presenta generalmente en forma de cristales cúbicos perfectos de una gravedad específica de 7,2, dureza 2.5, de color blanco grisáceo, brillante.

Viscosidad: La adición de galena al lodo produce incremento de la viscosidad. La rata de aumento permanece más o menos constante hasta que el lodo tenga densidad de 15 libras por galón, y de allí en adelante este incremento se hace algo menor. Fig. 12. El gráfico enseña, que para un lodo de un mismo peso la galena le dá menos viscosidad que la barita, pero mayor que la producida por la hematita hasta una densidad de 15,5 libras por galón.

De los experimentos hechos por Henry Gross ²⁷, se destaca que la galena produce un revoque de muy buenas características, que la hacen factible de usarse como material pesante, Fig. 11.

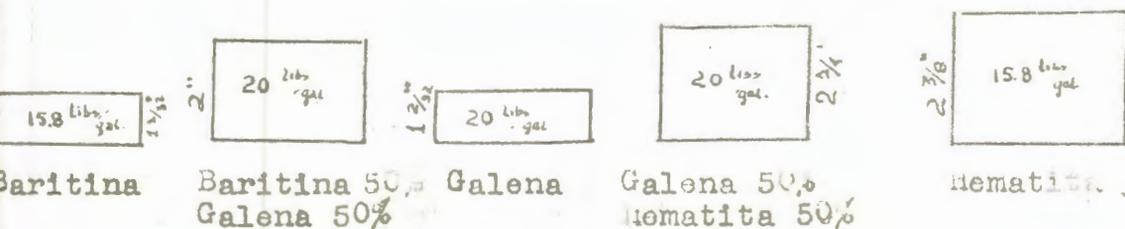
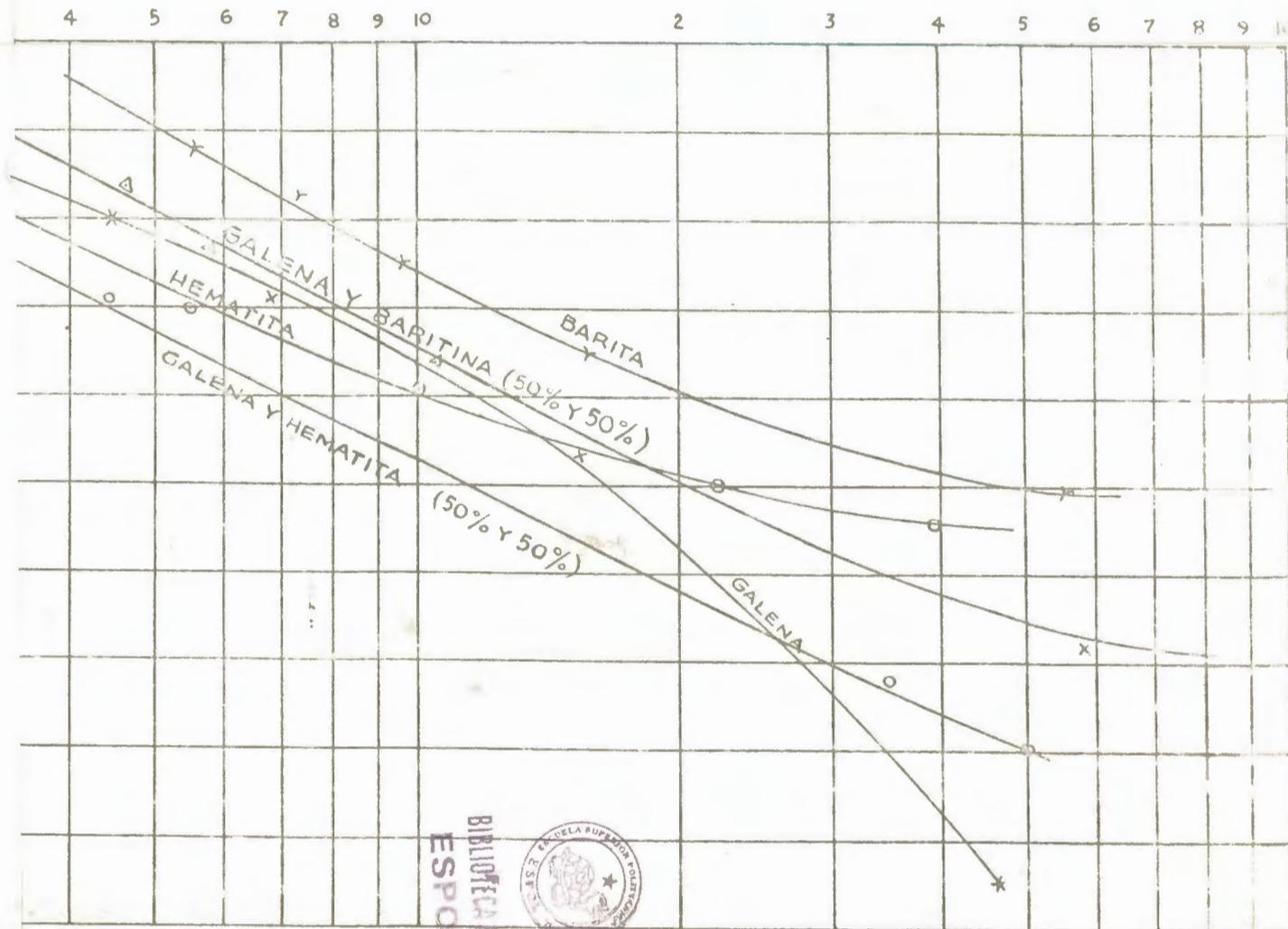


FIG. 11 Valores relativos del revoque dados por materiales pesantes

DE LOS MATERIALES PESANTES EN LA VISCOSIDAD -

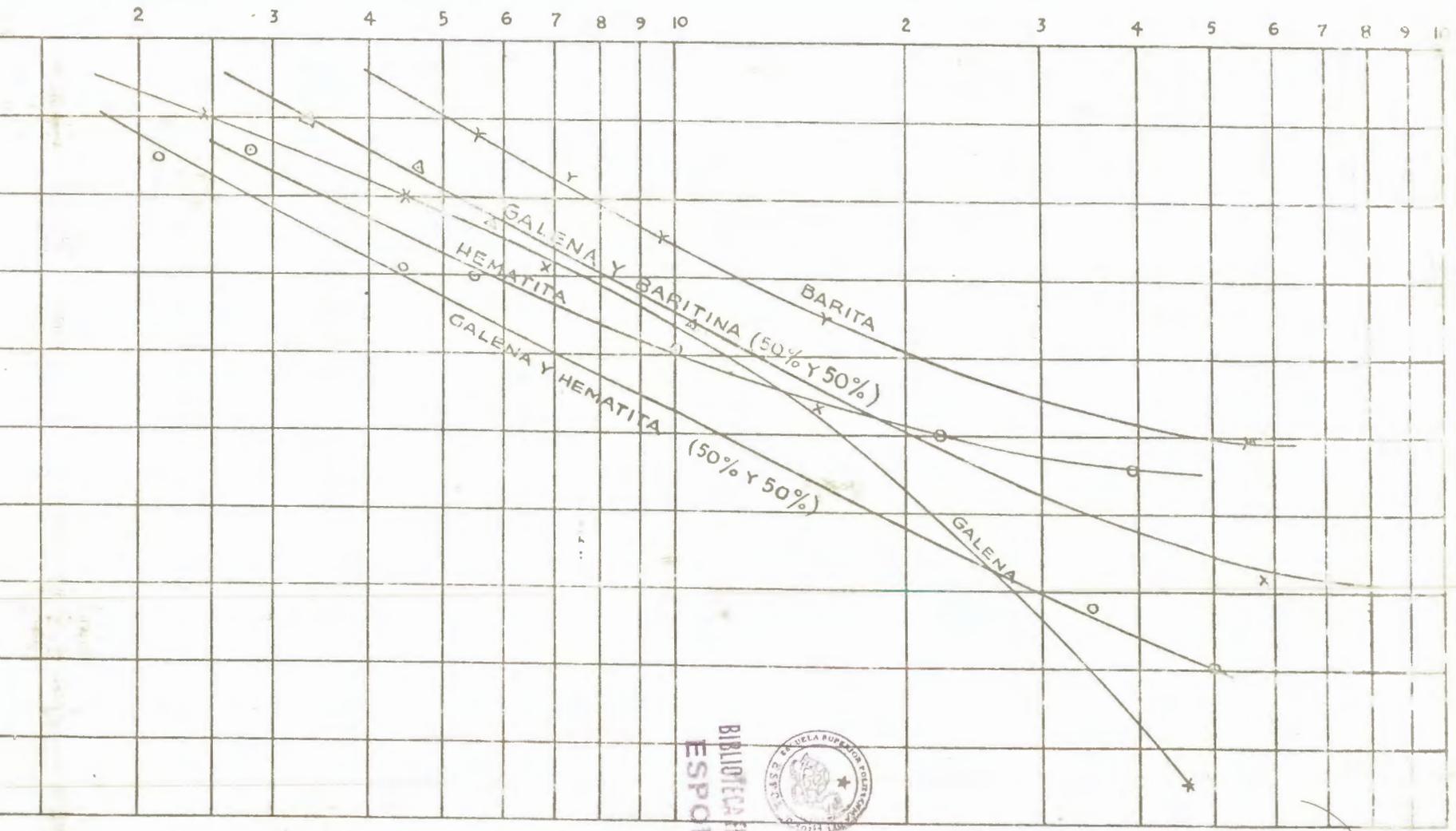
OPINAS



VISCOSIDAD EN CENTIPOISES
 STORMER 600 R.P.M.

29
FIG. 12 - EFECTO DE LOS MATERIALES PESANTES EN LA VISCOSIDAD -

ppias



VISCOSIDAD EN CENTIPOISES
STORMER 600 R.P.M.

PH - La adición de galena produce en el lodo una disminución del pH. Por ejemplo, un lodo de un pH igual a 7,6 fué rebajado a 5,2 por la adición de galena. Este fenómeno es atribuído a la oxidación superficial de las partículas durante su pulverización a menos de 325 mallas. El óxido formado al ponerse en contacto con el agua forma ácido sulfúrico, que produce la disminución del pH. Esta disminución puede ser controlada por la adición de sustancias que reduzcan el ácido formado, evitando con ello la posibilidad de corrosión de las partes metálicas del sistema que están en contacto con el lodo. Entre las sustancias utilizadas se encuentran con el fosfato di-sódico ²⁷.

Los lodos con galena, aunque rinde buenas cualidades de revoque, viscosidad, blando, no es abrasivo pero es de costo elevado, lo que hace su utilización casi prohibitiva.

Fórmulas: Considerando que la galena tiene una densidad de 7,5 las fórmulas para calcular el peso de la galena que debe agregarle a un barril de lodo para aumentar su peso hasta un valor dado y su volumen final son:

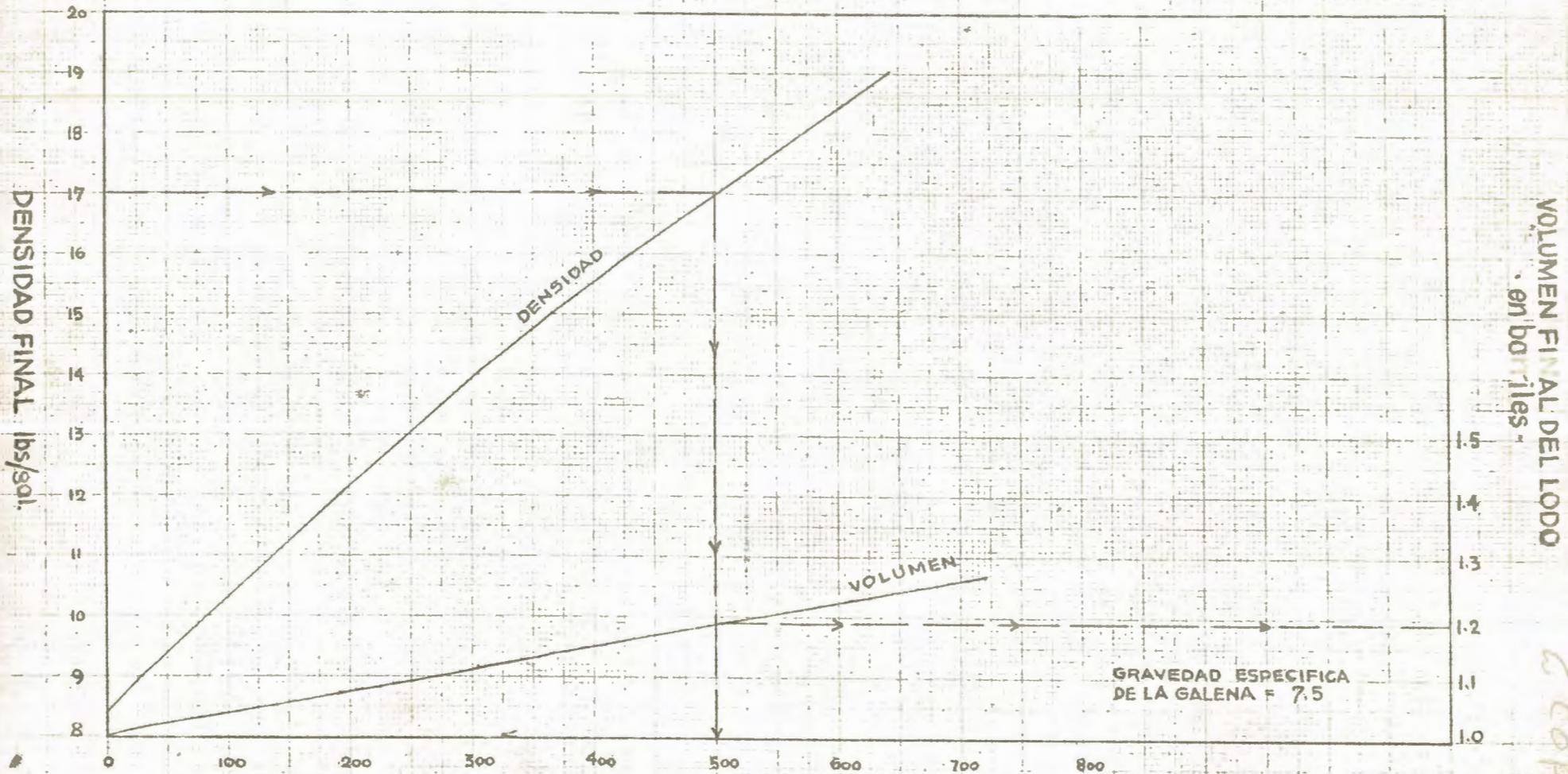
$$W_3 = \frac{2625 (W_2 - W_1)}{62.5 - W_2}$$

$$V_3 = \frac{W_2 - W_1}{62.5 - W_2}$$

- W1- densidad inicial del lodo, lbs. por galón
- W2 - densidad final del lodo, libras por galón
- W3- peso adicionado, en libras
- V3- incremento de volumen, en barriles

La Fig. 13 da directamente el peso en libras de galena y el volumen final, para elevar la densidad de un barril de agua a un valor dado.

FIG. 13 • EFECTOS DE LA GALENA EN LA DENSIDAD •



VOLUMEN FINAL DEL LODO
en barriles

GRAVEDAD ESPECIFICA
DE LA GALENA = 7.5

2 copias

2. MATERIALES ARCILLOSOS

El Comité de Sedimentación del Consejo Nacional de Investigaciones y la Sociedad de Ceramistas Americanos, ⁵⁷ definen la arcilla como un término que implica un material natural con propiedades plásticas, y compuesta 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 diálisis ^{37, 49, 57}



Clasificación. ⁵⁷ Atendiendo a la composición mineralógica y estructural de las arcillas, éstas pueden ser clasificadas en los siguientes grupos:

Grupo A - Kaolínico

Kaolinita
Halosisita
Dikita
Naorita
Endelita

Grupo B - Bentónitico

Montmorilonita
Beidelita
Hectarita
Nontronita
Saponita

C - Grupo Micáceo. Son usualmente micas hidratadas, muy parecidas a la Muscovita, pero contiene menos potasio, aproximadamente de 6 a 50% del contenido en la Muscovita. Este grupo no es muy bien conocido.

En el grupo A, las cuatro primeras tienen la misma composición química ($Al_2 O_3 \cdot 2 Si O_2 \cdot 2 H_2 O$), pero diferente estructura cristalina. La última contiene dos moléculas más de agua ($Al_2 O_3 \cdot 2 Si O_2 \cdot 4 H_2 O$)

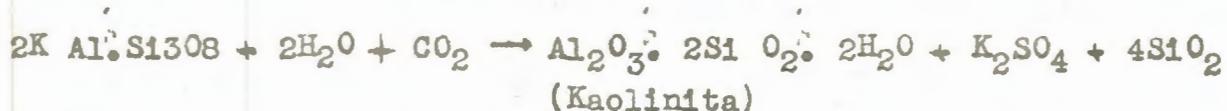
Del grupo B la más importante es la Montmorillonita ($Al_2 O_3 \cdot 4 Si O_2 \cdot nH_2 O$). Con una relación de 4:1 entre SiO_2 y $Al_2 O_3$.

TEORIA

Origen de las arcillas: Las arcillas son mezclas de compuestos finamente divididos durante la acción erosiva sobre la tierra. Esto explica el por qué estos materiales son esencialmente silicatos aluminicos. 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 aluminicos 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 hornblen-

das 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 volcánico. Durante las erupciones, las cenizas al ponerse en contacto con los gases oxidantes, producen alteraciones 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 los unos con los 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 hayan preferentemente las e-

cumulaciones de este material. }

Especificaciones sobre la bentonita:⁴⁹ Para que una bentonita pueda ser usada como aditivo de lodos, tiene que cumplir una serie de requisitos. Por eso se han elaborado unas especificaciones, de las cuales las más importantes son:

- A - Preparación de la Muestra: Se prepara una suspensión de 6% de bentonita no tratada. Esta suspensión es agitada a altas velocidades por un período de 15 minutos, a una temperatura de 70 a 90°F.
- B - Viscosidad: A la muestra ya preparada se le toma la viscosidad Stormer, a una temperatura de 80 a 90°F. Esta no debe pasar de 15 centipoises.
- C - Esfuerzo de Gelatinización: Esta medición se hace en el Stormer, 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.
- D - Pérdida de Filtración: La prueba de API de esta propiedad no debe ser mayor de 15 cm³ durante 30 minutos y bajo 100 psi.
- E - Velocidad de Hidratación: Después de permanecer inmóvil durante 24 horas, la muestra es agitada a alta velocidad

durante 5 minutos y se le toma la viscosidad, la cual no debe ser mayor del 25% de la viscosidad inicial.

F - Contenido de Humedad: El contenido de humedad de la bentonita no debe ser superior al 10% de su peso. Para determinarla se pesa una muestra de bentonita y luego se seca a 200°F. Se pesa de nuevo y por diferencia entre las lecturas se calcula el contenido de humedad.

G - Fineza: No debe contener más de 10% de partículas mayores de 200 mallas y 0,5% de 100 mallas.



FACULTAD
POL

Preparación de la Bentonita. La bentonita triturada es secada en hornos rotatorios, como los de las fábricas de cemento, de unos 8 pies de diámetros y 60 de largo. Se procurará que la bentonita no sea calentada demasiado porque pierde sus propiedades coloidales. La bentonita sale de los secadores con un diámetro aproximado de 1/4 de pulgada.

El contenido de humedad es reducido de 3,6 a 6%. De allí es pasada a un pulverizador de rodillos, de una capacidad aproximada de 6 toneladas, de donde el 90% pasa por un tamiz de 200 mallas. Después de la pulverización, se hace una selección de las partículas de bentonita por aire y las que tengan un diámetro mayor del deseado, son pasadas de nuevo por el triturador. Luego se procede a las operaciones de envase para el mercado.

Granulometría Típica de la Bentonita. El comportamiento de una arcilla está determinada por el tamaño, forma y características de la superficie de sus partículas. La plasticidad y otras propiedades características de la arcilla no son desarrolladas hasta que el tamaño de las partículas esté por debajo de 0, o 1 mm. El límite más bajo no es conocido, pero se han observado partículas tan pequeñas que tienen 2×10^{-6} centímetros de diámetro.

Las arcillas también contienen partículas mayores de 0,01 mm. Todas las arcillas de ocurrencia natural contienen partículas de diferentes diámetros. En Kaolín el 90% de las partículas son mayores de 500 A ($A = 10^{-7}$ cm) de allí que pueda ser medida directamente bajo el microscopio; pero en la bentonita, la mayoría de las partículas no pueden ser observadas y métodos indirectos deberán ser utilizados por su medición.

Los métodos indirectos utilizados más comúnmente para determinar el diámetro de las partículas de arcilla es el de asentamiento. Cuando una partícula se asienta en un líquido, irá disminuyendo su velocidad de asentamiento hasta que la acción friccional ejercida sobre ella, sea justamente igual a la fuerza causante del asentamiento. Se sabe que las partículas de una figura dada se asientan más rápido cuando mayor sea su masa. Mientras que partículas planas de una masa dada, se asentarán más lentamente que partículas esféricas de una misma masa. Las leyes que gobiernan este asentamiento de placas son desconocidas, pero ha llegado

a ser costumbre reportar el asentamiento de una partícula de una figura dada como si ésta tuviera una forma esférica, cuyo diámetro equivalente sería igual al diámetro de una partícula esférica del mismo material que se asienta a la misma rata.

Las arcillas contienen partículas de diámetro variable y es importante conocer la distribución natural de sus tamaños. Esta prueba de sedimentación se efectúa de la siguiente manera. La muestra arcillosa es secada, pulverizada y pasada a través de un tamiz de 120 mallas, 100 gramos del material tamizado son colocados en un tubo de vidrio de 4 pies y 2,5 pulgadas de diámetro y le es adicionado 2.000 cm³ de agua. Esta mezcla es agitada por 15 minutos, luego se van midiendo a intervalos de 5 minutos (al principio) la altura del material asentado. También se hace medidas de resistividad entre dos electrodos, espaciados dos pulgadas y suspendidos dos pies debajo de la superficie del fluido.

Funciones de la bentonita en el lodo. La bentonita produce aumento eficaz de la viscosidad, buenas propiedades de suspensión, reduce el volumen de filtrado y da muy buena propiedad lubricante al lodo. La bentonita ayuda al lodo de perforación a cumplir las siguientes funciones: 1) Suspensión del material pesante, 2) Disminución de pérdidas menores de circulación, 3) Remoción del rípio, 4) Mantenimiento del rípio en suspensión, 5) Lubricación de la sarta, 6) Deposición de un revoque impermeable, 7) Disminución

de la pérdida de filtración.

Las primeras cinco dependen de la viscosidad y gelatinización dadas al lodo por la bentonita, y las dos últimas funciones dependen de las características de filtración.

La bentonita casi nunca es utilizada como material pesante debido a su baja densidad de 2.4 y al aumento considerable de la viscosidad que produce al lodo. Pero en ciertos casos se le usa como tal, cuando se desea aumentar la densidad del lodo levemente. Si se supone que tiene una densidad de 2.4, las fórmulas para determinar el aumento de volumen y el peso requerido para llevar la densidad de un barril de lodo de W_1 a W_2 , son las siguientes: (49)

$$W_3 = \frac{840 (W_2 - W_1)}{20 - W_2}$$

$$V_3 = \frac{W_2 - W_1}{20 - W_2}$$

W_3 = Libras de bentonita adicionada

V_3 = Volumen del peso en bentonita adicionada, barriles

W_1 = Densidad inicial, libras por galón

W_2 = Densidad final, libras por galón

Hidratación de la bentonita. Una de las propiedades más notables de la bentonita es su marcada habilidad para inflamarse en presencia de la humedad. } Las partículas de la bentonita tie

nen la forma de placas; cuando el material está seco en condiciones naturales, las partículas se encuentran acumuladas como barajas, unidas, pero pueden ser fácilmente separadas. La distancia entre la cara inferior de una partícula y la superior de la adyacente, cuando están secas es de 11Δ ($\Delta = 10^{-7}$ cm).

Cuando se le agrega agua a la bentonita, comienza por formar hidratos y a penetrar a través de los cristales elementales, produciendo su separación y el subsiguiente aumento de volumen de la bentonita. La separación de las partículas puede ser tal, que produce la separación total de los cristales. Este proceso es reversible si el material es secado. El fenómeno de hidratación puede ocurrir a bajas presiones de vapor, lo que indica que un ambiente húmedo es suficiente para producir su hinchamiento.

Efecto de la bentonita sobre la gelatinización. Este fenómeno según Reed ⁽⁴⁸⁾ se debe a la formación de grupos primarios de partículas individuales del material bentonítico, luego éstos grupos se unen entre sí dejando canales entre ellos, formando el gel. Las partículas se unen como resultado de dos fuerzas que se desarrollan entre ellas. La primera es una fuerza repulsiva, resultante de las cargas negativas, existentes en la superficie y la segunda es una fuerza atractiva del tipo Van der Waals. Cuando estas fuerzas logren su equilibrio, resulta un esfuerzo de gelatinización dada. La adición de sales solubles, puede

incrementar o disminuir las fuerzas atractivas entre las partículas, afectando por consiguiente su gelatinización. De allí la explicación del efecto de los agentes reductores o aceleradores de la gelatinización y viscosidad del lodo.

Cuando la agitación de la solución de bentonita es cesada, el movimiento browniano de las partículas coloidales acelerará la formación del gel; de allí la explicación del porqué la temperatura produce incremento de esta propiedad, ya que ella aumenta el movimiento browniano de las partículas.

Las valencias satisfechas de los bordes de las partículas ayuda a ésta propiedad, ya que ellas producirán su unión lateral.

Efecto de la bentonita sobre la viscosidad. La adición de bentonita a un lodo producirá un aumento considerable de su viscosidad. El efecto de la bentonita sobre esta propiedad depende de su grado de dispersión y del tamaño de sus partículas. Así cuando mayores sean estos factores, mayor será la viscosidad.

Esta propiedad es debida a las mismas fuerzas existentes entre sus partículas, la cual se opondrá al desplazamiento de una partícula respecto a otra, lo que produce lógicamente un aumento de la viscosidad. Cuando mayor sea la concentración de las partículas, estas fuerzas se hacen más pronunciadas debido a su mayor acercamiento, produciendo mayor aumento de la viscosidad.

3. AGENTES CONTROLADORES DE LA PERDIDA DE CIRCULACION

La pérdida de circulación ocurre cuando la presión hidrostática de la columna de lodo es mayor que la presión de la formación. La severidad del problema es proporcional a la rata de pérdida, que puede ser desde un valor muy reducido hasta la pérdida total del lodo. La máxima pérdida de lodo tolerada es un barril por hora. Este problema puede ocasionar grandes pérdidas económicas, no sólo por la pérdida del lodo sino también porque puede producir reventón del pozo.

Existen varias maneras de controlar esta pérdida, entre las cuales se cuentan: 1) reducir la presión diferencial por medio de la disminución del peso del lodo o la presión de la bomba; 2) incrementar la viscosidad y gelatinización del lodo; 3) adicionar bentonita; 4) utilizar agentes sellantes; y 5) por cementación.

Agentes Sellantes. Estos agentes se acumulan a la entrada o dentro de las ranuras o grietas, sellándolas y reduciendo o eliminando, por consiguiente, la pérdida de circulación del lodo. Entre estas sustancias se cuentan: pulpa de remolacha, trigo, frijoles, arroz, fibras de madera roja, plumas de pollos, etc.; pero las más usadas son: mica, bagazo de caña, perlita, y escamas de celulosa.

A. Mica. La mica es un mineral hojoso compuesto de silicatos aluminicos, potásico, sódico con magnesio y hierro. Existen 3 variedades principales de mica que son: la muscovita, la biotita y la lepidolita.

La mica se utiliza en perforación como aditivo controlador de la pérdida de circulación y reductor de la filtración. Este material presenta la propiedad de adherirse a las formaciones taponando las grietas, fisuras o poros. Es resistente, forma buenos sellos, no corroe ni raya las camisas y pistones de la bomba y otras partes metálicas del sistema de circulación.



La mica utilizada como agente sellante debe tener un espesor y tamaño adecuado. Por lo tanto, se elaboran varios tipos de mica, pero la más usada, corrientemente se denomina N° 24.

Tabla 2 - Análisis del Producto

<u>Mallas</u>	<u>N° 24 Porcentaje</u>	<u>N° 60 Porcentaje</u>	<u>N° 160 Porcentaje</u>
6	2	-	-
8	22	-	-
12	28	-	-
20	20	-	-
30	15	2	-
40	-	2	-
50	9	12	-
60	4	28	3
70	-	24	-
100	-	16	24
200	-	16	73

El peso por pié cúbico no debe exceder de 17 libras para los Nros. 24 y 60, y 19 libras para el N° 160. La mica puede ser utilizada en conjunto con otros agentes sellantes de una manera satisfactoria. 2, 49

B. Bagazo de Caña. Material fibroso obtenido de la caña de azúcar después de habersele extraído su líquido azucarado. Este material es elaborado científicamente para vencer la pérdida de filtración. La fineza y naturaleza del material, hacen que forme una especie de esterilla sobre las aberturas de las rocas, que actúa como retenedor del lodo, produciendo de esta manera un sello efectivo, impermeable y eficaz.

Para su utilización, este material debe ser cortado en tamaños variados y graduados para que forme el sello más eficiente posible. El tamaño de las fibras varía desde 3 a 4 pulgadas como máximo, hasta fragmentos muy pequeños. Puede ser utilizado solo o en conjunto con otros aditivos.

C. Hollejos de Semillas de Algodón. Se utilizan eficientemente como agentes sellantes, para evitar las pérdidas de circulación. Las semillas resultantes del desmote del algodón contienen todavía pequeñas cantidades de fibras cortas adheridas a la parte exterior del hollejo; estas hilachas son reducidas en su mayor parte. Las semillas son pasadas por una máquina beneficiadora y luego todo el conjunto es pasado por un tamiz para seleccionar los hollejos.

Los hollejos de las semillas de algodón son usados muy a menudo, debido a su bajo costo y gran eficiencia de obturación. Este aditivo se añade al sistema de circulación por el embudo, en cantidades de 2 a 3 libras por barril como mínimo, y de 12 a 15 como máximo. 49

D. Perlita. Holmes definió la perlita como " un vidrio volcánico de riolita con marcada estructura perlítica ".

La perlita es un alúmino silicato casi idéntico a los mejores grados de bentonita, contiene en estado natural 2 a 5% de agua. Presenta la propiedad de expandirse con el aumento de temperatura, así se experimenta un incremento en volumen de 600 veces el original cuando la temperatura pasa de 1700 a 2000°F. La densidad de la perlita es de 14.95 libras por pie cúbico o de una gravedad específica de 0,24.

Este material inyectado al sistema de circulación por el embudo para que pase a la formación conjuntamente con el lodo para que permanezca en ella, y por acumulación y disposición de sus partículas graduadas obtura y contrarresta la pérdida de circulación parcial o total.

La perlita antes de utilizarse, debe someterse a un proceso de trituración y cernido, para obtener un tamaño apropiado de los granos. 3

Prueba del Cernido

Agregado de Perlita

<u>N. de la malla</u>	<u>Tamaño de la abertura (m.m.)</u>	<u>Porcentaje en peso</u>
10	2.00	16.9
20	0.84	44.7
30	0.590	-
40	0.420	22.7
60	0.250	10.9
100	0.149	4.4
200	0.074	0.4
-200	-0.074	trazas

E. Celulosa Plástica. Material fabricado de polimetileno, al cual se le inyecta aire para formar una masa no permeable de baja densidad. Una pulgada cúbica de este material contiene cientos de burbujas de aire, formando una especie de espuma de polimetileno.

Tiene una gravedad específica de 0,3 a 1,1 y ha sido cortado en fragmentos de 1/8 a 1/2 pulgadas de diámetro. La principal ventaja que ofrece el material es que constituye una masa tridimensional, es liviana, fácil de manipular, inerte a muchas sustancias químicas, no absorbe agua y no es afectado por el petróleo. La eficiencia del sello depende de las condi-

ciones combinadas de presión y temperatura. Se funde a 195°F y a presión atmosférica, a 175°F y una presión de 300 psi, y a 150°F con una presión de 600 psi.

Presenta el inconveniente de que flota debido a su baja densidad, siendo necesario mantenerla en agitación. La cantidad normal de material añadido al lodo varía de 2 a 5 libras por barril. 2, 49

F. Escamas de Celulosa. Se hacen fragmentos de láminas muy delgadas de celulosa de tamaño promedio de 1/4 a 1 pulgada. Su gravedad específica no es constante y varía entre 1.3 a 1.4, son livianas, suaves y de fácil manejo.

Las escamas de celulosa no son afectadas seriamente por el agua, aceite, petróleo, ácidos, soda cáustica, quebracho, fosfatos complejos, lodos de bentonita, etc., y su inflamación es casi nula. Las placas son fuertes y los esfuerzos requeridos para su rompimiento en una máquina de Scott, es de 15 a 20 libras en dirección longitudinal, y de 7 a 9 libras en dirección transversal.

Este material es elaborado por tratamiento químico de celulosa ($C_6H_{10}O_5$), de tal modo que puede ser fabricado en láminas finas, transparentes, flexibles, teniendo espesores aproximados de 0,001 pulgadas, y se inyecta al sistema de circulación por el embudo o manguera de succión. Comunmente se añaden de 2 a 5 libras por barril. Presente cierta tendencia a asentarse.

4. AGENTES REDUCTORES DE LA VISCOSIDAD

Un agente reductor de la viscosidad, es un material que reduce la viscosidad y el esfuerzo de gelatinización de los flúidos de perforación por control químico de la dispersión, y el grado de hidratación de las partículas coloidales en suspensión en el lodo de perforación.

El problema de los lodos de alta viscosidad, debido a sales no precipitadas, o por alta concentración de sólidos, puede ser resuelto con la dilución por agua, sin embargo, ésto ocasionaría una disminución en la concentración de bentonita y material pesante, e implica la adición simultánea de ambos compuestos para mantener las buenas propiedades del lodo. Este procedimiento puede ser satisfactorio pero no económico. Entonces es más conveniente usar ciertos compuestos que produzcan la reducción de la viscosidad y del esfuerzo de gelatinización, sin necesidad de hacer nuevas adiciones de bentonita y material pesante.

Rogers ⁴⁹ ha definido estos aditivos como aquellas sustancias que producen reducción de la viscosidad y del esfuerzo de gelatinización por otros medios que no sean los de dilución y precipitación del agente responsable de las viscosidades anormales. Esta definición excluye el agua, porque su función es la de dilución y también al bicarbonato de soda, carbonato de sodio, carbonato de bario, ortofosfato de sodio, etc., las cuales pro-

ducen reducción de la viscosidad por precipitación del calcio contaminante y reducción del ph.

Efectos de los Reductores de la Viscosidad. Porque estos agentes reducen la viscosidad, ha sido estudiado por muchos investigadores: Garrison²⁷ y Loomis⁴¹ dedujeron de sus experimentos que los agentes reductores producen la reducción de la viscosidad debido a la gelatinización, sin afectar en nada la viscosidad debida a la hidratación de los minerales de arcilla.

La viscosidad debida a la formación de las estructuras gelatinosas es contrarrestada porque estos agentes saturan las valencias insatisfechas de las partículas de bentonita, eliminando con ello las fuerzas atractivas y repulsivas causantes de la gelatinización. 36, 49

Agentes Reductores de la Viscosidad; Las sustancias químicas utilizadas como reductoras de la viscosidad son pocas, prácticamente pueden ser resumidas en dos clases: fosfatos molecularmente deshidratados y ácido tánico.

Hay muchísimas variaciones de fosfatos deshidratados y éstos combinados entre sí o con otras sustancias, originan un sinnúmero de compuestos reductores de la viscosidad, igualmente sucede con el ácido tánico. Entre estos agentes tenemos: ⁴⁹ silicato de sodio, fosfato monosódico, disódico y trisódico, pirofosfato sódico, ácido pirofosfato sódico (SAPP), metafosfato sódico,

tetrafosfato sódico, etc.

Entre los compuestos tánicos cabe mencionar los extractos de quebracho, y dividive, castaño, mangle. Entre otros se pueden enumerar también la úrea, ácido polifosfórico con úrea, etc.

De todos estos aditivos son muy pocos los usados intensamente como agentes reductores de la viscosidad. Los materiales básicos son: pirofosfato ácido sódico, meta o hexametáfosfato sódico, tetrafosfato sódico y quebracho con soda cáustica.

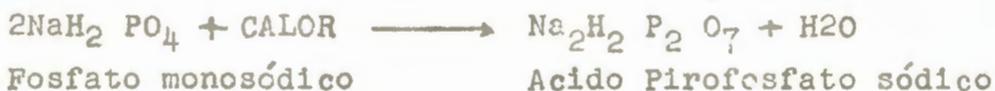
Fosfatos Molecularmente Deshidratados

Estos fosfatos presentan propiedades completamente diferentes de su materia prima original. Los ortofosfatos más utilizados como materia prima son: fosfato monosódico, fosfato disódico y fosfato trisódico. Por remoción del agua molecular de los ortofosfatos se obtienen los metafosfatos y los pirofosfatos; y por la combinación de estos últimos, resultan los polifosfatos. En resumen, hay cuatro clases de fosfatos que son: ortofosfatos, pirofosfatos, metafosfatos y polifosfatos.

Los meta y los polifosfatos obtenidos por la remoción por calentamiento del agua molecular de los ortofosfatos, tienen una composición final que depende del grado y tiempo del calentamiento y de la materia prima usada. Durante sus manufacturas, el calentamiento quede ser tal, que produzca la fusión del mate

rial y luego es enfriado en láminas delgadas, transparentes; que pueden ser pulverizadas o fracturadas en pequeños fragmentos; y si no se funde el material, el producto resultante es granuloso, pudiendo ser también pulverizado. Los fosfatos deshidratados comerciales no son completamente puros, porque contienen residuos de materia prima y productos intermediarios. Así, la mayoría no tienen la composición química conforme al nombre con que ellos se venden, contienen pronunciadas cantidades de óxido de sodio y fósforo.

El pirofosfato tetrasódico ($\text{Na}_4 \text{P}_2 \text{O}_7$) y el ácido pirofosfático sódico ($\text{Na}_2 \text{H}_2 \text{P}_2 \text{O}_7$) son obtenidos de la siguiente manera:



CA FICT,
POL

Los metafosfatos son obtenidos de la deshidratación del ácido pirofosfato sódico.



Además, los pirofosfatos y los metafosfatos pueden ser obtenidos de la combinación del carbonato de sodio ($\text{Na}_2 \text{CO}_3$) y el ácido fosfórico (H_3PO_4) originando primariamente el fosfato monosódico, luego por su calentamiento se obtiene el ácido pirofosfato

sódico, quien al calentarse se obtiene el metafosfato.

Los polifosfatos son obtenidos por el calentamiento a la temperatura y tiempo apropiado, bajo las diferentes proporciones deseadas entre metafosfatos y pirofosfatos, resultando estructuras complejas por el incremento de los átomos de fósforos por mo lécula. Entre estos polifosfatos tenemos: el tripolifosfato, el tetrapolifosfato y el sextapolifosfato.

Descomposición de los Fosfatos a Altas Temperaturas. Los fosfatos utilizados en la perforación son derivados de la deshidratación de otros más simples. Se presenta el problema que tal reacción de deshidratación es reversible, en presencia de agua y a altas temperaturas. Si se encuentran temperaturas anormales durante la perforación, estos fosfatos complejos se descompondrán casi completamente en una sola circulación del lodo. De allí que cantidades adicionales constantes bastante grandes de fosfatos son requeridas para mantener la viscosidad dentro de los límites deseados. Además, los productos resultantes de su descomposición son ácidos, lo que produce una reducción del PH, bajo un límite indeseable.

Los fosfatos tienen una temperatura límite de uso, en general, una de 120°F en la línea de flujo, indica una temperatura de fondo suficiente para producir la descomposición de estos fosfatos.



Sancher ²³ estudiando el efecto de la temperatura sobre los fosfatos, encontró que a una temperatura de 180°F, los más eficaces en orden de su permanencia con la temperatura son: el ácido pirofosfato sódico, el tripolifosfato sódico, el tetrapolifosfato y el tetrafosfato sódico, el hexametafosfato, etc.

Compuestos Tánicos

Constituyen los agentes reductores de viscosidad de uso común en la industria del petróleo. Estos compuestos tánicos complejos se utilizan ampliamente en la curtiembre de cueros, pero gran cantidad de toneladas de ellos son usados como aditivos del lodo. De estos compuestos tánicos los más usados con los extractos de quebracho y de castaño.

El Quebracho. Es extraído del árbol llamado quebracho; el proceso de su elaboración consta de los siguientes pasos: 1) preparación de la madera del quebracho, 2) extracción de las sustancias solubles por agua caliente y 3) evaporación del agua del extracto y pulverización del residuo sólido al tamaño deseado.

Los pequeños fragmentos de madera de quebracho son colocados

en tanques que contienen agua caliente. El grado de temperatura y tiempo de extracción son regulados para obtener el máximo rendimiento. El líquido resultante consta de un 90% de agua y un 10% de compuestos tánicos. Esta solución es concentrada hasta un 77 a 78% de estos compuestos por evaporación del agua, siendo luego solidificada por enfriamiento. Las masas resultantes de color rojo oscuro, son fracturadas en terrones y pasadas por el triturador. Después el tamaño de las partículas de quebracho son seleccionadas en una corriente de aire. Este quebracho contiene de 60 a 70% de compuestos tánicos.

Composición. Los compuestos tánicos obtenidos de árboles son compuestos orgánicos complejos, su constitución no es bien conocida. El compuesto tánico se considera formado por cinco moléculas de ácido digálico y una molécula de glucosa. $5(C_{14}H_9O_9) + C_6H_{12}O_6$.



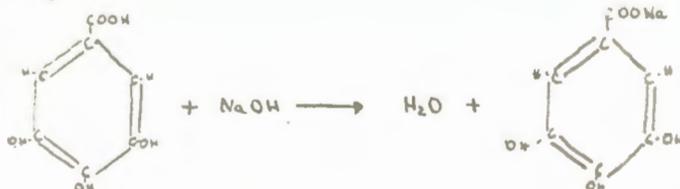
PECA FLOT
POL

La hidrólisis de este compuesto hace que se transforme primero en ácido digálico y luego en ácido gálico (ácido tánico).

$$5(C_{14}H_9O_9) + C_6H_{12}O_6 + 5H_2O \longrightarrow 5C_{14}H_{10}O_9 \text{ (ácido digálico)} + C_6H_{12}O_6$$

$$C_{14}H_{10}O_9 + H_2O \longrightarrow 2C_7H_6O_5 \text{ (ácido gálico)}$$

El ácido, al reaccionar con el hidróxido de sodio, se forma el tanato de sodio.



Para formar tanato de sodio, de 70 libras de ácido tánico se requiere 16.4 libras de hidróxido de sodio, lo que indica que es también necesaria esa cantidad de hidróxido para neutralizar el ácido tánico contenido en un saco de 100 libras de quebracho, ya que un saco de quebracho puede formar 70 libras de este ácido. En el campo se usan relaciones de 1: 1 ó 1:2 de hidróxido de sodio al quebracho, lo que indica que la cantidad usada es mayor que la necesaria para efectuar la neutralización del ácido.

Efecto de los Reductores Sobre los Lodos a Base de Agua. Tanto los fosfatos deshidratados como los compuestos tánicos, producen en este lodo reducción de la viscosidad, sin afectar marcadamente sus otras propiedades. Su comportamiento depende de las características particulares de cada agente, pero por lo general sus continuas adiciones producen efectos adversos a los deseados. Así, cada agente presenta un rango de concentración en el que producen la mínima viscosidad.

Se ha explicado que el aumento de la viscosidad por el sobretratamiento con estos agentes, se ha debido a la adición excesiva del agente reductor que produce cambio del valor óptimo del pH que rinde la mínima viscosidad. En el lodo de bentonita ese valor óptimo de pH es de 8 a 9, aproximadamente 8,5. Luego por la adición de estos agentes, el pH puede aumentar, haciendo que la viscosidad se incremente. En este caso, el efecto de incrementación de la viscosidad por el pH, vence la tendencia de de-

crecimiento debido al aumento de concentración del reductor.

La adición de quebracho a este lodo, produce una reducción de la pérdida de filtración, propiedad que los fosfatos deshidratados no poseen. Así, a medida que aumenta su concentración, las pérdidas de filtración disminuyen. Además, incrementan el esfuerzo y flexibilidad del revoque.

Valor Relativo de los Agentes Reductores de la Viscosidad

Para propósito práctico, es necesario evaluar la economía de los varios materiales reductores comercialmente utilizables. Loomis ⁵ expuso que la habilidad reductora de la viscosidad de estos agentes, era función de su peso molecular, pero los efectos prácticos no son tan simples como la teoría lo explica. Fancher ²³ encontró que los agentes que producen la mínima reducción de viscosidad, no producen efectos adversos por su sobretratamiento.

Se ha demostrado que el efecto de la reducción de viscosidad por estos agentes, es función de sus valores de pH.

Experimentalmente se ha encontrado que los agentes reductores de la viscosidad de mayor eficiencia, en orden de importancia, son los siguientes:

1. ácido pirofosfato sódico
2. metafosfato sódico
3. tetrafosfato sódico
4. quebracho con soda cáustica

Para obtener mejor rendimiento en el tratamiento de estos agentes, lo más conveniente es usar los reductores alternativamente, obteniéndose fácilmente el rango óptimo de pH.

En lodos contaminados con calcio, los agentes reductores de la viscosidad de mayor eficiencia, en orden de importancia, son:

1. Quebracho con soda cáustica
2. Metafosfato sódico
3. Tetrafosfato sódico
4. Acido pirofosfato sódico

Causas del Consumo de Reductores en el Control del Lodo.

Eso se debe a que relativamente, pequeñas cantidades de agentes producen una reducción eficaz de la viscosidad del lodo. En lodos de bentonita con una concentración de 0.1% de estos agentes reductores se obtienen su mínima viscosidad.

Las cantidades de estos materiales necesitados para un tratamiento, es un problema no fácil de resolver. Se sabe que estos materiales deben ser adicionados en cantidades suficientes para satisfacer las siguientes necesidades: 1) para la saturación de las partículas contenidas inicialmente en el lodo, 2) para la saturación de las nuevas partículas formadas de la división de las ya existentes, 3) la pérdida por reversión a ortofosfatos, 4) la pérdida por precipitación del material, 5) las pérdidas ocurridas por la descarga del material en el cernidor, y 6) un exceso como factor de seguridad.

5. GOMAS Y ALMIDON

Materias orgánicas han sido probadas como aditivos para suministrar las propiedades coloidales de los lodos bajo condiciones salinas. Estos compuestos presentan una estructura sumamente compleja y la mayoría de ellas están sujetes a descomposición bacterial. Otro factor de consideración es el precio y cantidades disponibles, ya que su consumo durante la perforación es considerable.

Los aditivos coloidales orgánicos se han investigado y están formados de carbono, oxígeno e hidrógeno, contándose entre ellos las gomas naturales, las sintéticas y el almidón.

Gomas

Gomas es el nombre genérico dado a un grupo de sustancias no cristalizables pertenecientes a la clase de los carbohidratos de compuestos orgánicos. Entre sus características se nota que forman soluciones coloidales viscosas. Las verdaderas gomas se distinguen de las resinas por su propiedad de disolución en agua. El término resina está restringido técnicamente a las sustancias insolubles en agua pero de fácil disolución en líquidos como metanol, aceites, etc.

Estas gomas son obtenidas de la savia de algunos árboles. Suelen contener algunas veces sucio, fibras y otros materiales

que las hacen inaceptables en el mercado. Existen varios grados comerciales de gomas, tanto en calidad como en fineza de sus granos.

El uso de gomas como aditivo del lodo se debe principalmente a la reducción de la pérdida de filtración. Las gomas más comúnmente utilizadas son: Arábica, Karaya, Fragacanth, Egipcia, Ghatti, etc. La mayoría de ellas son producidas en Africa, Asia Menor, India y Australia. Las cantidades producidas son bastante reducidas, de allí su poco empleo como aditivo del lodo.

Las gomas tienen una composición química muy compleja. Algunas de sus características no son conocidas exactamente, pero se sabe que están formadas por ácidos y azúcares. La goma arábica contiene ácido arábico, la Karaya y la Ghatti contienen ácido acético. Estos ácidos hacen que las soluciones de goma reaccionen como ácidos. Como el compuesto contiene azúcar, están sujetas a fermentaciones bacterianas, que promueven la desintegración de la goma. Así para poder utilizarlas como aditivo de lodo, tiene que agregársele bactericida para hacerlas estériles a la fermentación. ⁴⁹

Almidón

El almidón ⁴⁹ es una de las sustancias orgánicas más abundantes; ocurre en casi todos los vegetales. Las principales plantas productoras de almidón son: maíz, 55-65%; trigo, 54-58%,

papa; 18-20%; arroz, 70-79%; cebada, 40-46%; avena, 35-38%; centeno, 44-46%, etc.

El maíz, el trigo, y el arroz pueden fácilmente suministrar el almidón requerido por la Industria del Petróleo, pero es el primero que suministra actualmente casi la totalidad del almidón empleado para tales fines. Gray ⁴⁹ ha expresado que "todos los almidones de las diferentes fuentes, son idénticos en sus propiedades reductoras de la filtración".

Extracción del almidón de maíz. El maíz es sometido a un proceso de limpieza de las sustancias extrañas livianas, pasando lo por ventiladores; y las impurezas metálicas son eliminadas por electromagnetos; luego se remoja durante 48 horas para ablandarle la concha. Más tarde se pasa a través de una máquina especial, que fractura la semilla y separa gran parte del embrión. Luego es lavado en tanques donde es agitado para terminar de hacer su separación. El embrión flota en el tanque y es utilizado para la extracción de aceite.

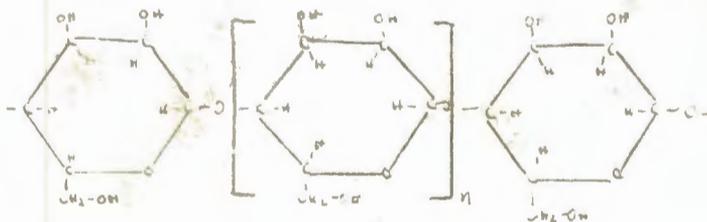


MECA FICOT
IPOL

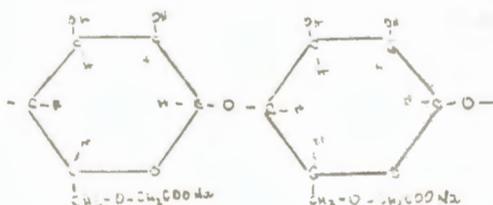
La parte restante de la semilla es desconchada y se echan en una batea de dos pies de ancho y 120 de largo, donde son agitados lentamente y se van moviendo hacia el otro extremo de la batea. Las partículas de almidón son más pesadas que el gluten y al separarse quedan en el fondo, mientras que la otra parte ocupará la superficie.

El almidón se lava y se seca, quedando listo para el mercado; este almidón es de color blanco, friable, no es soluble, en agua fría; pero puede ser preparado para que se enchumbe y gelatinice en flúidos de perforación a temperaturas normales. Las células de almidón están formadas de dos compuestos distintos pero similares que son: la amilasa y la amilopectina. La amilasa forma la parte interior, mientras que la amilopectina cubre la parte externa. Para que estos compuestos desplieguen sus propiedades físico-químicas, tiene que romperse la célula para facilitar su contacto con el agua. Como en los lodos se necesita que este material se inflame y gelatinice rápidamente, entonces es necesario tratarlo con agua caliente o con sustancias alcalinas.

Carbometilcelulosa Sódica (C.M.C.Na). La materia prima utilizada para la obtención de esta sustancia es la celulosa. Este material es el principal constituyente de la madera. El algodón es casi puro celulosa, por eso es la fuente por excelencia para la obtención de esta materia prima orgánica. La estructura de la celulosa se representa por la siguiente cadena:



La celulosa es insoluble en agua, pero sin embargo es soluble en álcalis. En solución alcalina, la molécula de celulosa se parte en fracciones y el grado de división depende de la temperatura, tiempo, concentración de oxígeno y soda cáustica; este es el primer paso para producir celulosa adecuada para ser usada como ingrediente del lodo de perforación. Si la celulosa sódica es tratada con ácido monocloro acético (ClCH_2COOH) ocurre sustitución del grupo hidróxilo primario y si la reacción es prolongada, puede sustituir un grupo hidróxilo secundario, produciéndose un éter glicólico. Cuando solamente le es permitido sustituir un grupo hidróxilo primario se forma el carbomotilcelulosa sódica, así:



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Características del Carbomotilcelulosa en el lodo. Para los usos comerciales, tal compuesto puede ser preparado en tres rangos de viscosidad: alta, media y baja. El C. M. C. Na es estable a altas temperaturas, sin embargo, presenta un ligero cambio en su viscosidad cuando la temperatura es superior a 212°F . Es inmune a la acción bacteriana. No fermenta bajo las condiciones de uso normal del lodo. No es precipitado por sales cuando se encuentra en soluciones acuosas, excepto por las sustancias poli-

valentes como el aluminio, plomo, hierro, y cobre. No es precipitado por el calcio, excepto cuando se encuentra en soluciones saturadas.

Este aditivo es usado primordialmente en lodos salinos, en los que la bentonita se encuentra incapacitada para inflamarse, hidratarse y desarrollar sus funciones que controlan la pérdida de filtración y sus efectos de viscosidad. En estos lodos las gomas y el almidón desarrollan satisfactoriamente sus propiedades de reducir la pérdida de filtración sin aumentar considerablemente su viscosidad.



Propiedades del Lodo que contiene Carbometilcelulosa Sódica

Este material imparte a todas las variedades de lodos a base de agua, una baja pérdida de filtración. La filtración de 3 a 4 cm³ durante 30 minutos, puede ser obtenida y conservada. El revoque obtenido es muy fino y de buena calidad, su valor varía entre 2/64 a 3/64 pulgadas.

La viscosidad del lodo sufre un incremento por la adición de esta sustancia, pero no excesivamente. Esta propiedad puede reducirse por el uso de sustancias químicas.

Valores de gelatinización pueden ser obtenidos y mantenidos por la adición de C.M.C.Na al lodo. En algunos casos la relación "thixotrópica", o sea la gelatinización a los 10 minutos sobre la

gelatinización inicial, generalmente aumenta. Esta propiedad depende de la cantidad y tipo de arcilla presente. Un alto contenido de bentonita muestra menos decrecimiento en la gelatinización que un alto contenido de arcilla no bentonítica. El C.M.C. tiene una marcada propiedad de estabilizar el lodo aún bajo contenido de sales de calcio y sodio, comunmente encontradas en él.

Comportamiento de las Gomas y del Almidón. La pérdida de filtración disminuye con el aumento de la concentración de gomas y almidón. De estos aditivos los que rinden mayor eficiencia de esta propiedad, en orden de su importancia son: 36

<u>pH neutral</u>	<u>Saturado por Sal</u>	<u>pH alto</u>
Goma Ghatti	Goma Ghatti	Almidón
Goma Tragacanth	Goma Tragacanth	Goma Locust Bean
Goma Locust Bean	Goma Karaya	Ghatti

Como se observa, la goma Ghatti es la que rinde menos pérdida de filtración en lodos neutrales y de alta concentración de sal. Las gomas Tragacanth y Locust Bean ocupan puestos superiores en todas las pruebas; pero desafortunadamente sus relaciones de viscosidad son demasiadas altas como para poder ser utilizadas en el campo. Con el aumento de la concentración de gomas y almidón, la diferencia en su comportamiento se hace negligente.

La viscosidad aumenta con el incremento de la concentración

de gomas o almidón. Las gomas Egipticia y Arábica dan las más bajas viscosidades para una concentración dada, pero desafortunadamente sus características de pérdida de filtración son demasiadas altas.

De todos estos materiales analizados, los que rinden mejores cualidades de viscosidad y pérdida de filtración, son la goma Ghatti para condiciones pH neutro y altas concentraciones de sal, y la Jungle. Para lodos de alto pH, el almidón es más conveniente.

En general, todas las gomas y almidones poseen muy baja propiedad de gelatinización. El esfuerzo inicial y el de 10 minutos a menudo tienen el mismo valor o no difieren en más de 1 a 5 gramos.

Sus efectos sobre los Registros Eléctricos. El problema de la toma de registros eléctricos en lodos de almidón, pueden ser estudiados separadamente para cada una de las siguientes condiciones: lodo de almidón con alto pH, lodo salado de almidón, lodo de almidón con pH normal y con menos de 20 p.p.m. de cloruro de sodio o 50 p.p.m. de calcio.

Los lodos de almidón con alto pH, presentan baja resistividad debido a que contiene disueltas algunas sales, como el sulfato de calcio, hidróxido de sodio, junto con cloruro de sodio,



dependiendo de sus grados de concentraciones. Buenos registros eléctricos pueden ser obtenidos con este tipo de lodo, pero saturados con iones de calcio o con iones de calcio junto con contaminaciones de cloruro de sodio superiores al 1% .

Lodos salados de almidón que contienen de 20 a 30 p.p.m. de cloruro de sodio, dan bajas resistividades y por ende, registros difíciles de interpretar. Debido a la baja resistividad la curva de potencial espontáneo se puede presentar invertida, siendo muy dificultosa interpretarla. Una manera de obtener registros eléctricos en estos lodos, es colocando en una sección que se va a registrar, lodo bentonítico a base de agua, que luego de hacer el registro, puede ser desechado del sistema de lodo. Este método es costoso pero muchas veces es conveniente.

Para el lodo de almidón con pH normal, la facilidad de obtención de registros eléctricos, depende del efecto de la contaminación sobre la resistividad. Contaminaciones de calcio por yeso o anhídrita, son usualmente insuficientes para producir efectos adversos. Contaminaciones con cloruro de sodio pueden ser de 2 o 3% sin producir efectos muy serios, pero se procura que tal contaminación sea menor. 49

g. SILICATO DE SODIO

La perforación de lutitas desboronables, ofrece contratiempos que a veces degeneran en serios problemas. Para contrarrestar tales inconvenientes se ha utilizado con buenos resultados lodos a base de silicato de sodio.

El silicato de sodio se obtiene de la fusión de sílice (SiO_2) y carbonato de sodio (Na_2CO_3), cuya reacción es:



En primer término para identificar un compuesto de silicato de sodio, debe establecerse la relación entre el óxido de sodio y la sílice, característica que determina muchas de sus propiedades. Además, la propiedad específica del silicato de sodio determina los porcentajes de silicato y agua necesarios para formar una solución de una viscosidad determinada.

Estos compuestos fundidos tienen forma de vidrios y son pulverizados según una diversidad de tamaños. Los silicatos son solubles en agua, aunque algunos son relativamente más solubles que otros. Las soluciones comerciales de silicatos de sodio son preparadas con la cantidad justa de agua para mantener los sólidos en suspensión. Estas soluciones presentan una alta viscosidad, como resultado de la gran concentración de sólidos. Para poder utilizarlas, debe agregársele agua hasta obtener la viscosidad

sidad deseada.

Las soluciones comerciales de silicato de sodio se venden según varias relaciones entre el óxido de sodio y de silicio, y para varias concentraciones de agua. (tabla 3) Actualmente estos aditivos son vendidos en forma pulverizada, debido a la facilidad y economía de transporte y almacenaje (49)

T A B L A - 3

SOLUCIONES DE SILICATO DE SODIO

Grado	Na ₂ O % p. peso	Si O ₂ % p. peso	SiO ₂ /Na ₂ O Relación	Gravedad Especif.	Sólidos Libras	Agua por galon
S	6,4	24,7	3,86	1,306	3,38	7,47
N	8,9	28,7	3,22	1,394	4,36	7,29
K	11,0	31,2	2,84	1,480	5,22	6,94
D	14,5	29,2	2,00	1,526	5,60	7,35
BW	19,4	30,6	1,58	1,680	7,00	7,00

Los esfuerzos de gelatinización son desarrollados en estos lodos por el uso de bentonita y el peso es incrementado por la adición de baritina. El peso requerido del lodo, controla la cantidad de bentonita que ha de usarse para lograr el esfuerzo de gelatinización adecuado.

Para la elaboración de un lodo de silicato, el orden en que deben mezclarse los ingredientes es importante. La mejor práctica es la siguiente: el silicato es mezclado primeramente con

el agua, luego se le agrega la arcilla y la mitad del material pesante. Luego se le añade la sal seguida del resto del material pesante. La bentonita debe agregarse antes de la sal, para que se hidrate y dé el esfuerzo de gelatinización deseado.

Este tipo de lodo es caro, debido a los altos precios de sus aditivos. Las propiedades físicas de este tipo de lodo, difieren de acuerdo con la cantidad y clase de ingredientes usados. Las propiedades características de un lodo de silicato fresco, son aproximadamente como sigue: 49

Peso, en libras por galón	13,0	17.0
viscosidad, cps.	39.0	-
Esfuerzo inicial de gelatinización, gramos	0	0.5
Esfuerzo de gelatinización a 10 minutos, gramos	5-10	10.20
Pérdida de filtración, cm ³ en 30 minutos	4-8	4-8
Espesor del revoque, pulgada	2/32	2/32
pH	12.5	12.5

Viscosidad. En los lodos de silicato se experimenta con el tiempo un aumento de viscosidad, que según varios expertos, se debe al incremento de porcentaje de sólidos y lo explican, considerando que estos lodos son usados principalmente para perforar lutitas. Si las lutitas no son afectadas por el lodo, ellas pueden separarse fácilmente en el cernidor, pero cierto porcentaje del material es tan fino, que no podrá ser separado y permanece

rá suspendido en el lodo. Con el tiempo el porcentaje de sólidos aumentará causando también incremento de la viscosidad. Si las lutitas son afectadas por el lodo, ellas se hidratarán y por ende se experimentará un incremento de la viscosidad y del esfuerzo de gelatinización.

La contaminación de agua salada no produce pronunciado efecto, si el lodo contiene ya las cantidades aproximadas de sal. El efecto más severo es el de dilución, que requiere cantidades adicionales de silicatos y materiales pesantes. La viscosidad y el esfuerzo de gelatinización permanecen constantes.

La viscosidad máxima permisible de un lodo de silicato es de 80 segundos API, siempre que el esfuerzo de gelatinización sea bajo. Si la viscosidad es mayor, el lodo debe tratarse para obtener el valor deseado.

Los agentes reductores de la viscosidad como quebracho y fosfatos no son efectivos en este tipo de lodo. El control de la viscosidad es obtenido por reemplazo de cierta parte del lodo, por lodo fresco. Algún otro control puede constituirlo la reducción del porcentaje de silicato, que debe usarse solamente cuando los otros métodos no resulten.

Esfuerzo de gelatinización. Los lodos de silicato presentan bajo esfuerzo de gelatinización inicial y final. Esta propiedad puede ser controlada por la adición de bentonita o arcilla hi-

dratada. La viscosidad de este lodo puede ser aumentada por la adición de mayor cantidad de silicato, pero el esfuerzo de gelatinización permanece constante. La rata de gelatinización es rápida y el esfuerzo es aumentado en la temperatura.

Pérdida de Filtración. Es una propiedad indicativa de las condiciones del lodo. Cuando el lodo ofrece buenas características, la pérdida de filtración es de 4 a 8 cm³, pero esta cantidad puede aumentar a 20 o 35 cm³ y aún hasta 80 cm³.

El control de la filtración del lodo de silicato es difícil de realizar. La adición diaria de silicato puede mantener la pérdida de filtración en un valor bajo, pero si sube considerablemente, no queda más remedio que reemplazar el lodo por uno nuevo.

Efectos sobre registros. Se ha encontrado que los registros tomados en lodos de silicato presentan ciertas características peculiares. La curva de potencial espontáneo muestra muchas veces valores inversos a los normales. Esto sucede cuando la resistividad del fluido de la formación es menor que la resistividad del lodo de perforación.

Estas curvas, corrientemente no son satisfactorias para hacer buenas interpretaciones. La curva de potencial espontáneo puede mostrar la posible identificación de areniscas, aunque las

otras curvas no enseñan los valores característicos de resisti-
vidad.⁴⁹

Peligros de estos lodos. El lodo es altamente alcalino, tie-
ne un pH de 12,2 lo que significa que su contacto con la piel,
puede causar quemaduras. Por lo tanto debe tenerse presente que
los trabajadores resguarden los ojos, la cara y cabellos. Este
lodo disuelve las telas y pieles de todas clases, así que la
ropa y los zapatos pueden deteriorarse en pocos días. Además,
deben tomarse precauciones especiales para conservar el equipo
y tuberías. Su gran acción detergente remueve las grasas, dismi-
nuyendo la eficiencia de los lubricantes y grasas. ⁴⁹

7. CARBONATO DE BARIO ($Ba CO_3$)

Cuando se perforan formaciones de anhidrita ($CaSO_4$) o yeso ($2H_2O \cdot CaSO_4$), o el agua usada para la elaboración del lodo está cargada de anhidrita, se producen condiciones adversas en las propiedades del lodo, debido a la contaminación con sulfato de calcio.

Las condiciones adversas causadas por el sulfato de calcio, son debidas a la floculación y deshidratación de la fracción coloidal del lodo. Las manifestaciones más palpables son: aumento de la viscosidad, del esfuerzo de gelatinización, de la pérdida de filtración, del espesor del revoque, reducción del pH y asentamiento de los sólidos del lodo y aparición de agua libre sobre la superficie.

La severidad de estos efectos dependen de la magnitud de la contaminación y se notan cuando la concentración pasa de 30 ppm. de calcio, lo cual depende de las condiciones de la formación perforada. Dicha contaminación será más pronunciada cuando la formación está pulverizada que cuando forma masas macizas, debido a que las partículas pequeñas se incorporan fácilmente a la corriente de lodo, además de presentar mayor superficie de solución. 2

Tratamiento. Para contrarrestar la contaminación de sulfato de calcio se usa el carbonato de bario, que reacciona químicamente

produciendo su precipitación.



En algunos aspectos, el tratamiento con carbonato de bario es superior al de carbonato de sodio y fosfatos disódicos, ya que se produce la completa separación de los cationes de calcio y bario; y de los aniones de sulfato y carbonato de las sustancias reaccionantes.

La cantidad de material usado depende: del diámetro del pozo, del espesor de la sección de anhidrita o yeso, de las características de la formación y de la eficiencia del cernidor del taladro.

El tiempo de reacción del carbonato de bario y el sulfato de calcio es lenta; ocasionalmente, cuando la anhidrita es perforada a altas ratas, la contaminación del sulfato de calcio puede aumentar más rápidamente que como es removido, resultando en una floculación temporal.

El carbonato de bario no es hidrófilo (no absorbe humedad del aire), no es corrosivo ni tampoco inflamable. Es de fácil manejo y se agrega directamente al sistema de circulación por el embudo.

El carbonato de bario es casi neutral en pH, y por lo tanto, no altera las propiedades originales del lodo en casos de trata-

miento previo. Su exceso no afecta adversamente las propiedades del lodo, pero esto debe evitarse debido a su alto costo. El tratamiento con carbonato de bario no es efectivo en lodos que contienen fosfatos molecularmente deshidratados.



ȘCOALA SUPERIOARĂ DE POLIȚIE
ȘP. POL.

8. LODOS AIREADOS

En casos especiales el aire puede ser agregado al lodo, para producir un fluido de baja densidad y contrarrestar de este modo la pérdida de circulación.

La pérdida de circulación se debe principalmente a la baja presión de las formaciones y al exceso de peso del lodo. Un lodo a base de agua, puede pesar por lo mínimo 8,3 libras por galón, si se le añade algunas sustancias sólidas su peso aumentará.

Cuando se desea obtener un lodo de densidad menor que la del agua, se le debe mezclar sustancias más livianas, como aceite. La adición de aceite dará lodos de una densidad mínima de 7,6, cuando sea aceite puro. Si se necesita un lodo más liviano de 7.6 libras por galón para controlar el problema de la pérdida de circulación, la adición del aire es indicado. Además de aire se podrá inyectar gas al lodo, pero el primero es más usado por razones económicas y de seguridad. La reducción de densidad lograda depende de la cantidad de aire inyectado. La densidad, la viscosidad y el esfuerzo de gelatinización sufren reducciones.

Las razones que apuntan el uso del aire con preferencia al gas son: reducción del peligro de incendio, el costo y el uso

en cualquier tipo de formación.

Además, muchas son las ventajas ofrecidas por la aireación del lodo, como son: fácil remoción del ripio, menos desviación del curso del pozo, menos peligros de explosión, y las formaciones acuíferas pueden ser selladas más fácilmente.

Para calcular la cantidad de aire que debe inyectarse al lodo, y lograr la densidad deseada, se ofrecen las siguientes fórmulas:

Para condiciones estáticas:

$$S = \frac{5.61 (P_1 - P_2) - 350 G_1 Ah}{0.0764 Ah - 4.071 Tav L_n \frac{P_1}{P_2}}$$

Para flujo ascendente por el espacio anular:

$$Ah = \frac{5.61 (P_1 - P_2) - 4.071 Tav S L_n \frac{P_1}{P_2}}{(0.0764 S - 350 G_1) a}$$

S = pies cúbicos de aire a 14,7 libras por pulg.² ab.

P₁ = presión de fondo, libras por pulg.² ab.

P₂ = presión en la boca del pozo, libras por pulg.² ab.

Ah = profundidad de la formación, en pies

Tav = temperatura promedio del pozo. °F

G₁ = gravedad específica del lodo

G = gravedad específica del lodo aireado

Q = barriles de lodos que fluyen por día

D = diámetro equivalente de la tubería de perforación,
en pies

f = coeficiente de fricción de la tubería de perforación

L_n = logaritmo neperiano

$$a = 1 - \frac{fQ^2 V_m^2}{7.413 \times 10^{10} D^5}$$

$$V_m = 5.61 - \frac{4.071 \text{ Tav. } S L_n}{P_1 - P_2} \frac{P_1}{P_2}$$

110

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

1. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Testing Drilling Fluid. API 1942, 2d. p. 14
2. BAROID SALES DIVISION. Revistas, 1950 a 1956
3. E. E. BARBERII. An Experimental Study on the Use of Perlite to Combate of Loss Circulation. Universidad de Tulsa, 1949.
4. E. E. BARBERII. Drilling Mud Funtions and Characteristics. Petroleo Interamericano, Septiembre 1948.
5. BDANTLY, S. E. Use of Pulverized Limestone as Rotary Drilling Mud. A. P. T. Drilling and Production, 1938, p. 29.
6. BEDMARKS, V. N. Measurement of Mud Viscosity at High temperature. Petroleo Interamericano, Oct. 1948, p. 53.
7. BERGMAN, J. E. y POETTMANN, F. H. Density of Drilling Muds. Reduced by Air Injection - World Oil, Agosto 1955, p. 97.
8. BOBO, A. R. Mechanical Treatment of Weighted Drilling Mud. AIME, Transactions, 1954, p. 39.
9. BONNET, C. F. Complex Phos phates for Defloculation of Drilling Mud. Oil & Gas Journal, 1Feb. 29, 1940
10. BOND, D. C. Positive. Colloid Muds. Oil & Gas Journal, Feb. 24, 1949, p. 97
11. BROUGHTON, G. y HAND, R. S. Viscosity Characteristics of Clays in Connection with Drilling Mud. Petroleum Technology, Nov. 1930, p. 1.002.
12. BRUNCE, G. H. Carring Capacity of Drilling Mud. API, Drilling and Production, 1951, p. 111
13. BURKE, W. H. Some Factors Affecting Viscosity of Rotary Mud AIME, Trans. 1935, p. 53-61

14. BYCK, H. T. The Effect of Temperature on Plastering Properties and Viscosity of Drilling Mud. AIME Trans. 1940, p. 165-147
15. BYCK, H. T. Improvement in Plastering Properties of Mud Oil Weekly. Feb. 3, 1941, p. 26
16. CALDWELL, W.T. Drilling Fluid Viscosimetry. AIME, Trans, 1941, p. 104
17. CARTWEIGHT, R.S Mud Laden Fluid, AIME, Trans. 1930, p. 382
18. COMPOSITE CATALOG - 1955 p. 573-616
19. CRAFT, J. Effect of Arsenates on the Viscosity of Drilling Mud. AIME, Trans. 1944-45
20. DALE. O. O. Plastic Resins Used with Oil Base Mud. Petroleum Engineer, Nov. 2, 1948, p. 168
21. DIEVENDORFF, H.H
y HEATER, F. W. Deep Drilling Technique. AIME, Trans. 1927, p. 35
22. DODGE, F. J.
y FRIETSCH, A.C Recent Studies in Properties of Drilling Mud. AIME, Trans. 1935, p. 62
23. FANCHER, G y
WHITING, R. D. Response of a Gulf Coast Drilling Mud to Chemicals, Temperature and Heat Treatment. AIME Trans. 1943, p. 233
24. FANCHER G, y
OLIPHANT, S. C. The Natural of Hasting Drilling Mud Supercentrifuge and X Ray - AIME, Trans. 1943, p. 221-232
25. FRIGERISION y
KLOTS, S. A. Filtration from Mud During Drilling. AIME, Transactions, 1954, p. 30
26. GRAY, G. E. Testing of Drilling Fluid. Pet. Eng. 1947, p. 100
27. GARRISON A. O. Surface Chemical of Clays and Shales, AIME, Trans. 1939, p. 191-204

28. GROSS, E. Intensive Weighting of Drilling Mud with Galena. AIME, Trans., 1938, p. 263-273
29. GUARIGUATA, R. Manual de Fluido de Perforacion. Shell 1952
30. MAEL, H. N. Ability of Drilling Mud to Lift Bit Cuttings. AIME, Trans., 1950, p. 35
31. HARRIS, S. Practical Treatment of Clay Type Drilling Mud. World Oil, March 1949, p. 79
32. HAVENAAR Pumpability of Clay Water Drilling Fluids. AIME, Trans. 1954, p. 287
33. HOKEN, J. Drilling Mud Measurement of Plastic Flow. Properties. Pet. Eng. April 4, 1954, p. E-27
34. JONES, P. H. Fields Control of Drilling Mud. O. G. J., June 3, 1937, p. 114
35. JONES, O. F. Determination of Grafito in Drilling Mud. AIME, Trans., 1953, p. 17
36. KAVELER, H. H. Improved Drilling Muds Containing Carboxymethyl Cellulose. O. G. J., July 6, 1948
37. KUMBELL, W. B. Mud Control and Design. Pet. Int. Feb. 1950, p. 33
38. LEWIS, W. K,
SQUIRES L. Y,
THOMPSON, W. T. Colloidal Properties of Clay Suspensions. AIME, Trans., 1935, p. 38
39. LEWIS, W. K.
SQUIRES L. Y
THOMPSON, W. T. Structure of Clay Gels, AIME, Trans. 1936, p. 71
40. LONDON, E. W. Loss Circulation or Lost Returns Drilling Mud. Baroid Sales Division, Nov. 1947
41. LOOMIS, A. G. Colloid Chemistry of Clay Drilling Fluids. AIME, Trans. 1941, p. 86-99
42. MAGCOBAR Mud Engineering - Houston, Texas
43. MARSH, H. N. Properties and Treatment of Rotary Mud. AIME Trans. 1931, p. 234-251

41. MEANS, E. A. Desirable Features of Non-Thixotropic Drilling Mud. O. G. J., Nov. 5, 1942, p. 45
45. MONTILLA, E.N. Chemical Treatment of Drilling Mud. P. Eng. 1948, Feb. p. 66
46. MORGAN, D. Use of Activate Charcoal in Cement to Combat Effect of Contamination. AIME, Trans. 1952, p.225
47. OWEN, J. E. A Comparision of Marsh, Funnel and Stormer Viscosities of Drilling Mud. AIME, Trans. 1941.
48. REED, C. E. Recent Advances in Knowledge of the Colloidal Properties of Clay Suspensions an Gel. AIME Trans. 1938, p. 240-262
49. ROGER, W. Composition and Properties of Oil Well Drilling Fluids, 1948
50. SALATHIEL, R.A. A New Additive for Control of Drilling Mud Filtration. AIME, Trans. 1952, p. 85
51. SILENT, R. A. Circulation Loss, API Drilling and Production, 1936. p. 60.
52. STEAMS, G. M. Gel Properties of Drilling Mud. O. G. J. Feb. 3, 1944, p. 141
53. STEAMS, G. M. Viscosity of Drilling Mud, O. G. J., Feb. 10, 1944, p. 77
54. STEAMS, G. M. Viscosity of Drilling Mud. O. G. J. Enc. 13, 1944. P. 79
55. STEAMS, G. M. Wall Building Properties of Drilling Mud. O. G. J., Feb. 17, 1944. p. 81
56. STONE, J. B. Combating Loss of Circulation in Drilling and Cementing. O. G. J. Agos. S. 1940. p. 44
57. FAILLUR, J. R. y CALVO. Inyección. 1946 - Argentina
58. UREN, L. C. Petroleum Production Engineering - Exploitation 1946, p. 281-300

59. WADDEL, R. W. Drilling Anhydrite with NaC.M.L. Base Mud
World Oil, Marzo 1949
60. WALKINGS y NELSON Measurement and Interpretation High Temperature Shear Strengths of Drilling Fluids
AIME, Trans., 1953, p. 213
61. WILLIAMS, M. y
CANNON, G. E. Evaluation of Filtration Properties of
Drilling Mud. APT, Drilling and Production
1938, p. 20-28
62. WILLIAMS, N. Chemical Treatment of Mud. Petroleo Inter-
americano, Julio - Agosto 1949, p. 90



BIBLIOTECA FICT
ESPOL