

**ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS**

**DEPARTAMENTO DE PETROLERO**

# **LODO DE PERFORACION**

**TESIS**

**PRESENTADA POR EL EXALUMNO**

**ARTURO A. BURGA ACOSTA**

**PROMOCION 1954**

**ENERO DE 1966**

M I S

A D O R A D O S

P A D R E S

AGUSTIN BURGA PEÑA

JOSEFA ACOSTA DE BURGA

-----

## I N D I C E

INTRODUCCION E HISTORIA	
FUNCIONES DEL LODO DE PERFORACION.....	3
MATERIALES ARCILLOSOS .....	8
PRUEBAS FISICAS DEL LODO DE PERFORACION.....	18
CONTROL Y RECOMENDACIONES SOBRE LAS PROPIE- DADES FISICAS DEL LODO.....	41
TIPOS DE LODOS DE PERFORACION.....	54
ELECCION DEL TIPO DE LODO Y AGUA USADOS EN LA PERFORACION.....	67
CONTAMINACION DEL LODO.....	74
INFLUENCIA DE LOS AGENTES QUIMICOS EN EL LODO	83

-----

## INTRODUCCION E HISTORIA

El tema que he elegido para optar el título de Ingeniero de Petróleo denominado "Lodo de Perforación" lo he tomado de entre los propuestos por la digna Comisión de profesores.

Con el fin de hacerlo mas didáctico, he dividido mi trabajo en 8 capítulos, los cuales los he realizado de acuerdo a mi condición y teniendo sobre todo como principal base mis ocho meses de práctica que tuve en los Campos del Norte del Perú durante mi vida universitaria, así como también mis conocimientos adquiridos en el Departamento.

He tratado en lo mayor posible que cada capítulo sea fiel reflejo de su materia.- El último de éstos trata sólamete de algunos gráficos y dibujos referidos al fluido en cuestión.

En los primeros tiempos de la perforación rotativa, al lodo de perforación no se le daba la debida y especial importancia que se merece; sus propiedades físicas no eran estudiadas con suficiente interés ya que no hay detalles ni pruebas que las mencionen.

Recién por el año de 1921 se comienza la adquisición de los aditivos para el control de las propiedades del lodo.- Los continuos peligros de reventón e incendio que por entonces se presentaban especialmente en la perforación de zonas gasíferas con lodos cortados por gas y de baja densidad, preocupó grandemente a los técnicos de la Industria quienes afanosamente buscaban la solución.- Es Stroud en 1921 el que recomienda el uso del óxido de hierro para aumentar la densidad del fluido de perforación, material éste que es usado en grandes cantidades y con buenos resultados.

En 1922 el mismo Stroud experimentó con barita, y encontró que era mas conveniente que el óxido de hierro como agente densificante.- Después salieron a luz muchos otros productos los que mayormen-

te no tuvieron auge, dado que no tenían uso comercial.- Los descubrimientos de productos y aditivos para el fluido de perforación entre los años de 1922 a 1929 fueron muy pobres y reducidos.- Recién 1929 se comienza el uso de arcillas bentoníticas para aumentar la viscosidad del fluido de perforación.

Es March en 1931 quien introduce en la Industria del Petróleo el embudo que lleva su nombre como instrumento de campo para medir la Viscosidad del fluido de perforación.- En este mismo año fué recomendada a la Industria el Viscosímetro Storer (600 r.p.n.).

Después de 1931 el progreso en el tratamiento del fluido de perforación se desarrolla rápidamente.- Estudios de la estructura y propiedades de la bentonita fueron hechos por numerosos investigadores.

En 1937 entra en uso el filtro presa para determinar el espesor de la costra o enlucido y el Filtrado del fluido de perforación.- Es este año que marca la asamblea final de los aparatos y pruebas técnicas del lodo de perforación que actualmente están en uso.

El uso del silicato de sodio como fluido de perforación para las gredas hidratables, fué introducido en la Industria a mediados del año 1930, año en que también se usó el primer lodo a base de petróleo.- Durante los años de 1935 y 1936 se comenzó el uso del almidón como medio de bajar el filtrado en aquéllos lodos con alto porcentaje de agua salada, en los que la bentonita no era efectiva.- Desde este momento gomas y otros materiales inmunes a la floculación por efecto del agua salada fueron usados como aditivos para disminuir el filtrado.

El uso de agentes químicos tuvo lugar por primera vez en 1929.- Ellos consistieron primeramente de agentes alcalinos para aumentar la viscosidad del fluido de perforación.- Luego se introdujo el uso de compuestos de tanino y fosfatos deshidratados.

El progreso del fluido de perforación desde 1937, ha consistido mayormente en perfeccionar las pruebas técnicas, determinar las propiedades deseables del fluido de perforación y estudiar las propiedades de los materiales constituyentes del mismo.- En suma, los sistemas de lodos de agua y arcilla han sido reducidos desde un conglomerado de arcillas comerciales y agentes densificantes de amplio rango de gravedades específicas, hasta una simple composición de bentonita y barita con el uso de arcillas presumiendo un mejor costo.

La mayor parte de los aditivos y agentes utilizados en el lodo de perforación están patentados por conocidas firmas comerciales, y se expenden en el comercio con diversos nombres.

**C A P I T U L O    1º**

**L O D O   D E   P E R F O R A C I O N**

**F U N C I O N E S**

## LAS FUNCIONES PRINCIPALES DEL LODO DE PERFORACION

Un lodo de perforación debe ser tal que con sus propiedades favorezca en forma rápida y segura la perforación y completación de un pozo, procurando una máxima productividad.- Un mal programa de lodo trae como consecuencia el fracaso de la perforación; es el buen control de sus propiedades lo que permite que el lodo pueda cumplir en forma satisfactoria sus funciones; que son las siguientes:

a) El lodo debe ser capaz de llevar a la superficie los recortes o detritus cortados por la broca en forma ininterrumpida mientras se esté perforando.- Para cumplir esta función se debe tener en cuenta la velocidad de circulación del lodo en el espacio anular, la capacidad de la bomba y algunas propiedades del lodo como son viscosidad y densidad.- Cuando la capacidad de la bomba no permite desarrollar en el espacio anular una velocidad de circulación del lodo adecuada para subir los detritus a la superficie, se debe proceder a disminuirle su viscosidad, para que así el lodo pueda cumplir satisfactoriamente su cometido.- La no realización de esta función por el lodo de perforación, acarrearía las siguientes consecuencias:

- 1.- Atascamiento de la cañería
- 2.- Embotamiento de la broca y por ende menor penetración
- 3.- Alteración de las propiedades físicas del lodo
- 4.- Desconocimiento de las formaciones atravezadas
- 5.- Imposibilidad de formar columnas estratigráficas (strip logs)

b) Existen casos en que es menester paralizar la circulación del lodo de perforación, es decir, mantener el lodo en estado estático; en estas condiciones el lodo debe ser capaz de mantener en suspensión los recortes o detritus de la perforación dentro del hueco valiéndose



de su propiedad Tixotrópica, entendiéndose por Tixotropía aquella propiedad en virtud de la cual el lodo se convierte en pastoso o semisólido cuando está estático y vuelve a su posición normal (líquido) en cuanto comienza la circulación.- La no consecución de esta función por el lodo, traería como consecuencia el obligado atollamiento de la cañería de perforar.

c) En cualquier instante de la perforación y sea cual fuera la formación por la que se está atravesando, el lodo debe tener una densidad tal, para que la columna de lodo produzca una adecuada contrapresión y poder así contrarrestar las presiones de las formaciones y evitar el ingreso del gas, aceite o agua al pozo.- La siguiente ecuación debe ser aplicada para este caso:

$$P_L = P_f + P_s$$

$P_L$  = Presión de la columna de lodo

$P_f$  = Presión de la formación

$P_s$  = Presión de seguridad

El valor de  $P_L$  aumenta, conforme aumenta la densidad del lodo.- No conviene que el valor de  $P_L$  sea demasiado superior que el de  $P_f$ , ya que ésto traería como consecuencia una pérdida de circulación.- Generalmente el valor de  $P_s$  varía de 300 a 600 psi.- La no consecución de esta función por el lodo, traería como consecuencias la contaminación del lodo y la alteración de sus propiedades físicas así como también el peligro de reventón (blow out) con la consiguiente pérdida de vidas, material y equipo.

d) La costra, revoque, enjarre o enlucido que forma el lodo en las paredes del pozo, es de considerable y vital importancia, ya que su espesor y otras características dan una medida de la calidad del lo-

de en uso.- El lodo en su trabajo de ascenso, a la vez que recoge los recortes de la perforación baña en forma constante la pared del pozo, formando en ella una capa impermeable que tiende a reducir al mínimo la pérdida de fluido del lodo.- La explicación técnica dada a esta propiedad, es que debido a la diferencia de presión que existe entre el lodo y la formación, el lodo, o penetra en los poros o cavidades de la formación o la fase líquida del lodo es forzada a entrar en la formación, siempre que los poros de ésta no permitan la entrada de los sólidos en suspensión, dejando lo sólido depositado como una costra.- Cuando nos encontramos con formaciones rajadas, fisuradas o cavernosas, y el peso y presión del lodo son suficientes para levantar el ripio de la formación se tendrá que este lodo irá perdiéndose en la formación ya sea en forma lenta o rápida, este fenómeno se conoce con el nombre de pérdida de circulación del cual nos ocuparemos detalladamente mas adelante.

Tanto la pérdida de filtración como el espesor de la costra, tienen considerable influencia en la perforación así en formaciones donde la pérdida de fluido del lodo y la permeabilidad de la formación sean altas, se tendrá un grueso enlucido, lo cual es peligroso en los trabajos de sacar la cañería ya que ésta puede atollarse; este enlucido da lugar también a la mala limpieza del pozo en el proceso de completación, afectando desde luego la producción.

Cuando se tienen formaciones gredosas hidratables y se está perforando con lodo a base de agua de alta pérdida de filtración, la formación sufre un hinchamiento lo que trae como consecuencia una lenta velocidad de perforación, atollamiento de la cañería, trabajos de pesca y aún la pérdida del pozo.- Si la formación es arcillosa hidratable en vez de gredosa, la entrada de agua hincha las partículas de arcilla dentro

de la formación arenosa, disminuyendo su permeabilidad y por ende la producción.

Si se tienen formaciones de baja permeabilidad (rocas duras), el filtrado del lodo puede ser muy alto, sin embargo, no afecta en lo mínimo la perforación.- Esto resulta de dos factores:

a) Desde que la permeabilidad de la formación es baja, el filtrado también lo será y por consiguiente el enlucido será delgado y no interferirá mayormente en los trabajos de arrear y sacar la cañería.

b) Debido a que la formación es altamente competente los flujos que penetran en ella no producen derrumbes.

En formaciones de esta índole y particularmente en aquéllas que tienen bajo B.H.P. no se presta debida atención al lodo, ya que como las formaciones no hacen lodo, éste puede contener muy pocos sólidos.- La única gran dificultad que existe es que el lodo no tiene la suficiente viscosidad y fuerza de Gel para mantener los sólidos en suspensión y para llevar los detritos de la perforación a la superficie.

c) Una de las primordiales funciones del lodo de perforación es la de lubricar y mantener limpia la broca.- El fluido de perforación lubrica la broca mientras ésta gira en el fondo del hueco.- Para el buen desempeño de tal función, el lodo debe estar exento de todo material lijante que pueda cortar la broca.- La contextura coloidal o gelatinosa del lodo, sirve de medio lubricante y refrigerador.- Los conductos para el lodo en la broca, van de tal modo dispuestos, que aquél limpia completamente las fresas.- Gracias a esta acción del lavado, se evita que la roca desmenuzada se adhiera a la broca y la embote.- La conservación de la broca en buen estado de limpieza, lubricación y refrigeración, mientras va perforando, depende del volumen de lodo mantenido en circulación

per las bombas, del peso y la velocidad rotatoria a que se somete la broca y del tipo de formación que se está atravesando.- De una manera general cualquier fluido de perforación debe tener un calor específico suficientemente alto así como también suficientes cualidades de lubricación para enfriar adecuadamente la broca y prevenir el despellejamiento o descascaramiento de la cañería.

f) Finalmente como última función, el lodo debe facilitar los trabajos de entubación, cementación y de perfilaje eléctrico, siendo requisito indispensable para cumplir esta función, que el lodo tenga un mínimo filtrado y una resistencia de gel adecuadamente a las circunstancias.- Los lodos de emulsión son los que mejor cumplen esta función.

C A P I T U L O   I I

A R C I L L A S   U S A D A S   E N   E L

L O D O   D E   P E R F O R A C I O N .

### MATERIALES ARCILLOSOS

El término arcilla implica:

- a) Un material natural con propiedades plásticas.
- b) Una composición de partículas de esencialmente muy reducido tamaño.
- c) Una composición de fragmentos cristalinos que son esencialmente silicatos de aluminio hidratados u ocasionalmente silicatos de Magnesio hidratado (atapulgita).

El término esquisto ("shale") comprende aquéllos materiales que difieren de las arcillas en que están laminados y ligeramente endurecidos.

El hecho de que los materiales arcillosos, suspendidos en agua, nos dan fluidos heterogéneos con propiedades coloidales, nos llevó a la idea de que los materiales arcillosos eran necesariamente no cristalinos.- Estos materiales arcillosos están constituidos esencialmente por uno o mas minerales, de grupo, llamados minerales arcillosos, grupo que con excepción de los alófanos (soluciones de sílice, alúmina y agua, en varias proporciones, que no presentan carácter cristalino y se encuentran ocasionalmente en algunas arcillas), son netamente cristalinos.

Según Grim, los factores necesarios para caracterizar un material arcilloso son:

- a) Minerales de arcilla que lo componen; su proporción relativa y su distribución granulométrica.
- b) Minerales no arcillosos; su abundancia relativa y su granulometría.
- c) Contenido de electrolitos; determinación cuantitativa de intercambiables y de sales solubles en agua.

d) Material orgánico, cantidad y tipo.

e) Características de textura, tales como la forma de los granos de cuarzo, grado de orientación paralela de las partículas, silicificación, etc.

Estos factores son también los que gobiernan las propiedades de una arcilla.- Los factores a) y e) son los que mas interesan para el estudio de las arcillas desde el punto de vista de su aplicación en la preparación de fluidos de perforación.

Los minerales de arcilla se reúnen en tres grandes grupos: illita, Caolinita y Montmorillonita, y en otros grupos de menor importancia.

El grupo de la illita comprende minerales de arcilla similares pero no idénticos a las micas; se trata de silicatos de aluminio y potasio hidratados.- Nos es de interés para los lodos.

El grupo de la Caolinita incluye además de ésta, que es la mas común, a la dikita y Nacrita con la misma composición pero con diferentes formas cristalográficas.- La fórmula química de la Caolinita es  $Al_2 O_3 2Si O_2 H_2O$ .

El grupo de la Montmorillonita incluye además de este mineral la Saponita y Nacrita, estas dos últimas resultantes del reemplazo del aluminio por Magnesio y Fierro respectivamente.- La fórmula química de la Montmorillonita es  $Al_2O_3 4SiO_2 nH_2O$ .

Los lodos a base de agua y arcilla tienen como componentes esenciales en su fase sólida arcillas y agentes densificantes.- La química de los agentes densificantes entre los que predomina la barita ( $SO_4Ba$ ) es relativamente bien conocida.- En cambio la química del grupo de las arcillas es altamente complicada, no obstante que profundos estudios han sido hechos por varios investigadores sobre su constitución

y propiedades, aún existen muchos puntos que se encuentran sin solución.- Las arcillas se usan en el lodo de muchas maneras.- La primera y mas conocida arcilla que se usa en el lodo es la bentonita que consiste esencialmente de la montmorillonita y que sirve para permitir un bajo filtrado y una conveniente viscosidad y fuerza de gel.- También en los lodos se usan otras arcillas de mayor heterogeneidad entre las que tenemos: las arcillas nativas que se usa para pequeños incrementos de densidad; las arcillas nativas especiales las cuales son usadas debido a que forman soluciones coloidales en soluciones altamente salinas y por último las arcillas y esquistos de la formación perforada.

Si se usan lodos de agua salada y almidón, lodos de cal y almidón de alto pH o lodos a base de petróleo, la hidratación de las partículas de arcilla y esquisto es despreciable o no existe, simplificándose con esto, muchos de los problemas de mantenimiento del buen control del lodo.

Las arcillas son materiales terrosos que se encuentran en la naturaleza y que tienen la propiedad de desarrollar plasticidad cuando se humedecen.- Químicamente las arcillas son silicatos de aluminio hidratados.- Estos compuestos están formados por reunión de moléculas, algunas de las cuales contienen cationes capaces de ser reemplazados o restituidos en varias partes del grupo molecular.- Las condiciones estructurales peculiares de las moléculas de arcilla dan origen a muchas propiedades coloidales, entre las que se tiene alto grado de dispersión, desarrollo de cargas eléctricas en las partículas, y la habilidad de moverse bajo la influencia de fuerzas eléctricas, hidratación, relaciones de cambio de base y tixotropía, siendo todas éstas de gran importancia en el control de las propiedades físicas de un lodo de perforación.- Los minerales arcillosos son esencialmente insolubles en el



agua.

No todos los minerales arcillosos tienen las mismas propiedades de hidratación y dispersión.

Las arcillas son materiales residuales que resultan de la intemperización de las rocas o esquistos.- La intemperización puede desintegrar rocas de silicato o llevar en solución rocas de carbonato, dejando otros residuos arcillosos; también la intemperización puede desintegrar esquistos, los que originalmente son arcillas compactadas.- El método y condiciones de intemperización, la temperatura, las condiciones climáticas, la presencia de minerales reactivos, etc; todos estos se combinan para formar el mineral de arcilla.

#### PROPIEDADES DE LA BENTONITA

La Bentonita (Montmorillonita) tiene muchas propiedades físicas y químicas de interés en la preparación y tratamiento de los lodos de perforación, entre las que se cuentan: la acción de hinchamiento cuando está hidratada, las propiedades de cambio de base, las propiedades de reducir la pérdida de fluidos, los efectos causados por el pH del fluido, efectos causados por las sales solubles, etc.- La montmorillonita es un compuesto altamente reactivo en mezclas acuosas y el mantenimiento de las buenas propiedades físicas de los lodos a base de agua y arcilla requiere un buen conocimiento de sus propiedades químicas.- La complejidad de la estructura reticular de los minerales de arcilla, aún no está completamente entendida.- Las propiedades físico-químicas de la Montmorillonita en suspensiones acuosas están solamente estudiadas en parte.

Una de las pronunciadas propiedades de la bentonita es su marcada habilidad a hincharse en presencia del agua.- La hinchazón se debe a la penetración del agua a lo largo de la superficie del mineral

silicoso, aumentando el espacio de olivaje entre las láminas adyacentes de la bentonita.- La entrada de agua a lo largo de los planos de olivaje separa las láminas individuales, resultando en un aumento del espacio del retículo, a lo largo del plano paralelo a la superficie de la lámina.- Las otras dimensiones del retículo o enrejado permanecen fijas.- Esta acción de hinchamiento es reversible, es decir, si hubiera deshidratación ocurriría una contracción de la bentonita.- La penetración del agua a lo largo de los planos de olivaje se realiza a una presión de vapor de agua relativamente baja y no es necesario colocar la bentonita en agua para observar el efecto.

#### ESTRUCTURA CRISTALINA DE LAS ARCILLAS.

Estudios con rayos X han permitido una amplia acumulación de los datos que han llevado a establecer con razonable seguridad el retículo cristalino de los minerales de arcilla, quedando solo algunos detalles de las estructuras como materia en discusión.

Según Grim, hay dos unidades estructurales en el retículo atómico de los minerales de arcilla.- Una unidad corresponde a alúmina o hidróxido de aluminio que consiste en dos planos de oxígeno u oxidriles entre los que se ubica el aluminio en posición equidistante a seis oxígenos o hidroxilos.- La segunda unidad está constituida por sílice y oxígeno que se unen formando un cañamazo (cordón) exagonal, en los que cada átomo de silicio está en el mismo plano unido a tres átomos de oxígeno; la cuarta valencia del silicio se satisface con un oxígeno unido al aluminio.

La estructura cristalina de la Caolinita se compone de un plano de alúmina hidratada y una unidad de silicio, en cambio la Montmorillonita está constituida por dos unidades silíceas entre las que queda interpuesta la unidad de alúmina.

Estas agrupaciones de átomos en el caso de la Montmorillonita dan dos superficies basales similares y en el Caolín son disimilares.- A esta similitud y disimilitud de superficie se le asignan las propiedades diferenciales de la Caolinita y Montmorillonita.

Estas agrupaciones pueden extenderse indefinidamente en las direcciones a y b con la sola limitación de la resistencia mecánica de la placa.- La agrupación mínima en la dirección c es la que se llama cristal elemental de arcilla y la distancia c recibe el nombre de espesor del cristal elemental.- Estas láminas o cristales elementales se sobrepone unos sobre otros como cartas de un naípe y se mantienen unidas por fuerzas residuales.

De acuerdo a Ford, Loomis y Fidián en las superficies basales de sílice, fuerzas de valencia secundarias pueden inducir hidrólisis ácida del agua absorbida y en las superficies basales de alúmina puede ocurrir lo contrario.

Estas superficies de carácter ácido y básico que se encuentran en la Caolinita, pueden combinarse entre sí y ello explicaría porque este mineral se dispersa mucho más difícilmente en agua que la Montmorillonita cuyas superficies basales similares impiden esta reacción topoquímica.

Estas superficies basales reactivas que se neutralizan entre sí en el caso de la Caolinita, y disponibles como asiento para reacciones químicas en la Montmorillonita, explicarían la gran diferencia en la capacidad de intercambio de iones (3 a 15 para la primera y 60 a 100 milliequivalentes por cada 100 gr. para la segunda).- También explicarían, sin necesidad de admitir reacciones químicas la diferencia que existe en la dispersabilidad de los mismos.

Teniendo la Caolinita de acuerdo a la estructura postulada

por los investigadores con rayos X, un cristal elemental de espesor menor que el de la Montmorillonita, no se explicaría, de no mediar una asociación mas o menos estable de partículas elementales de caolín, ya sea por reacción química o por asociación de dipolos, que la dispersabilidad sea mayor para la Montmorillonita que para la Caolinita.- Como confirmación las observaciones de Shaw al microscopio electrónico nos muestran que en la Montmorillonita la dispersión llega hasta el cristal elemental, mientras que para la Caolinita se tienen casi siempre asociaciones de cristales elementales.

La Montmorillonita en agua se dispersa bien y ocurre un aumento de la distancia entre los cristales elementales al aumentar el porcentaje de agua, aumento que, según unos, se produce por pasos, formando diversos hidratos, y que, según otros, es gradual por penetración de agua entre los cristales elementales, y pasado cierto límite se provoca la separación de los cristales, es decir, la total dispersión.- Cualquiera que sea el mecanismo, el resultado es la propiedad de hincharse en agua que presentan las bentonitas.

Este hecho ha llevado a la concepción generalizada entre los mineralogistas de que la Montmorillonita presenta un retículo expandible, similar a un acordeón.- En realidad, como puntualiza Shaw, la distancia entre dos átomos de Si por ejemplo en posición semejante de cristales contiguos varía con el contenido de agua.- De estas variaciones es mas natural deducir aumento de separación entre cristales que la de un retículo cristalino expandible.

La Caolinita no presenta este aumento de separación entre cristales con el aumento de agua y ello se debería a la asociación mas estable de las superficies basales disimilares, ya sea por reacción química entre ellas o por razones de distinta polaridad, como si se tratase de dos imanes rectos superpuestos, enfrentando polos opuestos,

impidiendo la acción separadora del agua.

Cualquiera sea el caso, un adecuado tratamiento mecánico, la modificación de la constante dieléctrica del agua en que se suspende la arcilla, (presencia de electrolitos) o la modificación del carácter de una de las superficies por adsorción de reactivos adecuados, puede llevar a la dispersión completa de la Caolinita.

Otro punto no del todo claro en las propiedades de las arcillas era la ubicación de los cationes intercambiables.- Nuevamente caolinita y Montmorillonita presentan diferencias sensibles.- Experimentalmente se encuentra que la capacidad de intercambio de la Caolinita aumenta con la dispersión, mientras que la de la Montmorillonita es independiente del tamaño de las partículas.

Como expresábamos hace un momento, puede haber una hidrólisis en la superficie del cristal elemental.- Por ejemplo, una molécula de agua puede reaccionar con el oxígeno unido a dos átomos de silicio dando dos grupos hidroxilos.- Los hidrógenos de estos hidroxilos se ionizarían y son reemplazables por metales o bases orgánicas y en medio ácido fuerte el hidroxilo entero puede reaccionar como una base, y de ello resulta el carácter anfotérico que presentan las suspensiones de arcilla.

De esto resulta también que, tal como se admite hoy, las arcillas son verdaderos electrolitos coloidales, que sufren una disociación superficial, disociación que es la que le da la carga a las partículas en suspensión.

En el caso de la Montmorillonita, al producirse fácilmente la dispersión total, presenta capacidad de intercambio prácticamente constante; en cambio para la caolinita las superficies se hallan saturadas entre sí en las dispersiones más groseras, y recién con tratamientos adecuados puede aumentarse la superficie específica, aumen-

tando entonces la capacidad de intercambio que no puede llegar nunca a igualar la de la Montmorillonita.- De ser correctas las hipótesis sobre las que estamos especulando, la Caolinita llegaría a lo sumo a poseer la mitad de la capacidad de intercambio de ~~la~~ Montmorillonita.- En efecto, supongamos intercambio en medio alcalino.- En este medio actúa la superficie de silicio, y la de alúmina, por acción de un ión común ( $\text{OH}'$ ), retrograda su disociación.- También por estas consideraciones resulta que el potencial electrocinético de las suspensiones de Montmorillonita debe ser siempre mayor que el de la Caolinita comparadas sobre la base del mismo catión asociado y fuera del punto isoeléctrico.- Concordantemente la estabilidad de las suspensiones de bentonita es superior a las de caolín.

**C A P I T U L O**

**P R O P I E D A D E S F I S I C A S D E L  
L O D O .**

**P R U E B A S**

PROPIEDADES FISICAS DEL LODO DE PERFORACION: Pruebas.-

Desde el momento que se comienza la perforación de un pozo, va a constituir una tarea cotidiana para el Ingeniero de lodo, el controlar las propiedades y características del fluido de perforación, teniendo en cuenta factores de formación, profundidad y fines de la perforación.- Depende en mucho de su capacidad e ingenio, el éxito de la perforación, ya que con un estricto y bien llevado control del lodo, evitará que se produzcan problemas en el lodo y lo que es mas, acelerará el tiempo de perforación, permitiendo una mayor economía para su Compañía y por ende, un mayor prestigio y una mayor confianza en su persona.

Son dos clases de pruebas las que realiza el Ingeniero de lodo con el fluido de perforación:

- a) Las de Campo
- b) Las de Laboratorio

Entre las primeras se cuentan: Viscosidad, densidad, Filtrado y espesor de costra, pH, Velocidad de Gel y Fuerza de Gel.

Entre las pruebas de Laboratorio se cuentan: densidad, Viscosidad, Filtrado, pH, Alcalinidad, Gel inicial, Gel a los 10 minutos, contenido de sal, Factor de Cal y Contenido de arena.

PRUEBAS DE CAMPO

DENSIDAD.- Es de extrema importancia conocer la densidad del fluido a través de la perforación, sobre todo cuando se está atravezando formaciones de gas, petróleo o agua salada, donde se requieren altas densidades; o por el contrario, cuando se perforan zonas de baja presión donde es necesario que el fluido tenga baja densidad.- Existen dos aparatos que son los mas comunmente usados para determinar la densidad



de los fluidos de perforación y son: la Balanza Baroid y el Hidrómetro.

BALANZA BAROID. (Figura # 1)

Esta balanza provee un método simple para la exacta determinación de la densidad del lodo.- Una notable ventaja de esta balanza, está en que la temperatura del lodo de perforación, no afecta materialmente la exactitud de las lecturas; como sucede con el Hidrómetro.

Esta balanza consiste de una copa que esta fijada a un brazo graduado, el cual tiene un peso corredizo.- El ángulo de la cuchilla está en el brazo graduado y descansa sobre una base o soporte y tiene un nivel de burbuja que sirve para comprobar que la balanza ha sido balanceada.

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

- 1°.- Se llena la copa hasta el tope con el lodo que va a ser pesado.
- 2°.- Se tapa la copa en forma suave y firme con un movimiento de enroscado.- Es natural que algo de lodo se derramará.
- 3°.- Se debe limpiar el lodo que se haya derramado en el brazo graduado o en la parte exterior de la copa.
- 4°.- Se debe mover el peso corredizo a lo largo del brazo graduado hasta que la burbuja ocupe la parte céntrica del espejo del nivel.
- 5°.- Se debe leer la densidad del lodo con el filo del lado izquierdo del peso corredizo, lo que nos dará en libras por galón (p.p.g.) o en libras por pié cúbico (p.c.f.)

Es necesario y conveniente que después de cada prueba se lave la copa y se guarde en forma limpia cada parte de la balanza para poder así obtener en las pruebas la mayor exactitud posible.

Todo aparato antes de ser usado, debe ser calibrado, ya que su no calibración trae como consecuencia una incorrecta apreciación de los valores leídos.- A continuación explicaré el método para calibrar una balanza de lodo:

1°.- Se llena la copa con agua pura.

2°.- Se coloca el peso corredizo en la graduación 8.33 p.p.g. y se coloca el filo de la cuchilla del brazo graduado sobre el pivot o punto de apoyo del mismo (fulcrum).

3°.- Si en esta condición la burbuja no ocupa la parte céntrica del espejo del nivel, habrá que agregar o quitar perdigones de la cámara de perdigones, que se encuentra en el extremo derecho del brazo graduado, según que la burbuja se halle del lado derecho o izquierdo respectivamente del centro del nivel, hasta que ocupe el centro del nivel.

#### HIDROMETRO. (Figura # 2).

Este aparato consiste de los siguientes elementos: un flotador de aluminio cuya parte superior termina en un brazo graduado en unidades de densidad, una copa de bakelita donde se coloca el lodo y un recipiente de metal de forma cilíndrica, en el cual flota el hidrómetro y sirve como un baño de agua.

Para determinar la densidad en este aparato, se procede de la siguiente manera:

1°.- Se llena el recipiente cilíndrico con agua fresca a una temperatura de más o menos 70° F.

2°.- Se separa la copa de bakelita de la parte inferior del flotador y se la llena de lodo.- Luego se debe atornillar suavemente la copa ya llena de lodo, a la parte inferior del hidrómetro propiamente dicho (flotador), procurando que no salpique el lodo, para de esta

manera se tenga una pesada perfecta.

3°.- Tanto el flotador como la copa de bakelita ya como una unidad, flotarán en el baño de agua del recipiente cilíndrico, procediéndose a la lectura de la densidad del lodo en el vástago del hidrómetro ya sea en p.p.g. ó en p.o.f. valor éste que es marcado por la superficie del agua contenida en el recipiente cilíndrico.

Como en el caso de la balanza, el hidrómetro debe ser también calibrado antes de usarse y para ésto se procede de la siguiente manera:

1°.- Se llena completamente la copa plástica con agua fresca y limpia, para luego atornillarla suavemente a la parte inferior del hidrómetro.

2°.- Se introduce el conjunto en el baño de agua.

3°.- Se lee en el vástago del hidrómetro la densidad, la cual si es que el hidrómetro está calibrado, debe marcar 8.33 p.p.g. ó 62.4 p.o.f.

4°.- Si la lectura es diferente de estos valores, se agregarán perdigones por la parte superior del vástago, si élla fuera menor que los valores comparativos antes mencionados y se quitarán perdigones en caso de que dicha lectura sea mayor.

#### VISCOSIDAD.

Esta es una de las principales características del lodo y no viene a ser otra cosa que la medida de la resistencia interna al flujo del fluido.- Su valor debe ser controlado a diario durante la perforación y su medida debe hacerse por medios "standards".- Las condiciones y tamaño del hueco, la velocidad de bombeo, la velocidad de perforación, el tamaño del ripio, el tipo de broca usada y las características de gel de lodo, influyen en la viscosidad.

El instrumento usado en el campo para tomar la viscosidad se denomina Embudo Marsh.

EMBUDO MARSH. (Figura # 3).

Es el aparato casi universalmente usado en el campo, para tomar la viscosidad de los fluidos de perforación.- Las dimensiones de sus diámetros son 6" y 3/16" respectivamente, su longitud es de 12" y su capacidad hasta el nivel de la malla o cedazo es de 1500 c.c., siendo el tamaño de esta malla 10 la que se encuentra aproximadamente a 3/4" de la base mayor.- Como elementos accesorios de la prueba se tiene una vasija de 1000 c.c. y un cronómetro.

Para la prueba se debe proceder de la siguiente manera:

1°.- Se debe recoger la muestra de lodo de un lugar corriente o fluyente (debajo de la criba) a fin de reducir los errores causados por la tixotropía del lodo.

2°.- Cerrando con el índice de la mano izquierda el pitón de 3/16" del embudo, verter inmediatamente la muestra en él, a través de la malla y llenar el embudo justo hasta el nivel del cedazo.

3°.- Con un cronómetro en la mano derecha controlar el tiempo que transcurra desde que se quita el dedo del pitón hasta que haya fluído todo el lodo.

4°.- El valor de la viscosidad se expresa en segundos de tiempo. - Para que esta prueba se realice de la manera mas correcta se debe tener muy en cuenta los requisitos siguientes:

- a) El embudo debe estar perfectamente limpio, de preferencia el pitón.
- b) Debe cernirse la muestra a través del cedazo del embudo.
- c) La vasija receptáculo debe estar limpia y seca.

d) El embudo debe llenarse hasta el nivel de la malla.

e) La muestra debe tomarse de un lugar correntoso o fluyente.

f) A fin de evitar demoras, el embudo, la vasija y el cronómetro deben estar listos para realizar la prueba inmediatamente luego de sacada la muestra.

g) Si la circulación es lenta o si los forros son demasiado profundos o anchos, antes de la prueba, debe agitarse el lodo.

La calibración del embudo se hace con agua fresca a 70° F y de acuerdo con las capacidades del embudo y vasija así:

CAPACIDAD DEL EMBUDO	CAPACIDAD DE LA VASIJA	TIEMPO
1500 c.c.	946 c.c.	26 ± 0.5 seg.
1500 c.c.	1000 c.c.	28 ± 0.5 seg.
500 c.c.	500 c.c.	19 seg.

Según el A.P.I. debe usarse lo primero que no es otra cosa que la viscosidad de 1/4 de galón de lodo, sin embargo muchos usan lo segundo.

#### FILTRADO Y ESPESOR DE LA COSTRA

El filtrado de un lodo de perforación no es otra cosa que la habilidad de los componentes sólidos del lodo a formar un enlucido delgado y de baja permeabilidad, lo cual depende de la cantidad y estado físico del material coloidal en el lodo.- Se ha comprobado que cuando el lodo tiene baja cantidad de coloides y alta cantidad de sólidos inertes, forma un enlucido grueso en las paredes del hueco.- Una gruesa costra restringe el pase de las herramientas y da lugar a un alto filtrado con el consiguiente peligro de derrumbes.

Para la realización de esta prueba se usa comunmente el fil-

tro a presión "Standard" Baroid del que a continuación nos ocuparemos.

FILTRO A PRESION STANDARD BAROID (Figura # 4).

Este filtro consta de un tornillo de presión, de una estructura y de un depósito para el lodo con sus tapas superior é inferior respectivamente.- Las dimensiones del depósito son: 3" de diámetro interno y 5" de alto.- En la parte superior esta conectado el tomador de gas y la tapa inferior tiene en su parte central un tubo de descarga que es por donde se recibe el filtrado.- El aparato se dispone de la siguiente manera: El fondo, un aro de jebe, luego una malla, un papel de filtro, nuevamente un aro de jebe, el depósito, seguidamente otro aro de jebe y por último la tapa superior.- Este aparato emplea un pequeño cilindro de nitrógeno comprimido como fuente de presión y tiene un regulador de presión y una válvula especial de seguridad.- Una pequeña manguera de jebe conecta esta unidad con la parte superior del depósito receptáculo de la muestra de lodo.- La prueba se debe realizar a 100 psi. y durante 30 minutos.

Para realizar la prueba del filtrado, se procede de la siguiente manera:

1°.- Las partes del aparato bien secas, se debe colocar en el orden mencionado anteriormente.- Se debe asegurar bien el depósito a la tapa inferior.

2°.- Se llena el depósito con el lodo cuyo filtrado se desea obtener, procurando si fuera posible que el fluido llegue hasta 1/4" del tope y luego se coloca el conjunto, en la estructura adecuada del aparato.

3°.- Chequear la tapa superior y cerciorarse que el tomador de gas esté bien puesto, luego poner la tapa superior sobre el depósito y asegurar el conjunto con el tornillo (sin presionar).

4.- Colocar una probeta graduada bien seca, debajo del tubo de descarga.

5.- En estas condiciones, abrir la válvula del gas y aplicar una presión de 100 p.s.i. gradualmente, presionando al mismo tiempo rápidamente la tapa superior del depósito mediante el tornillo.

6.- A los 30 minutos, cerrar la válvula del gas rápidamente y abrir la válvula de seguridad con el fin de descargar la presión.- Regresar el tornillo de presión a la posición 3.

7.- Leer el volumen de filtrado en la probeta graduada.- Su valor generalmente se da en centímetros cúbicos (c.c.).

Generalmente en el campo se toma el filtrado durante 7 1/2 minutos, el que es multiplicado por dos.

Una vez terminada la prueba, se procederá a separar las partes del aparato.- Se debe tener mucho cuidado al sacar el papel de filtro ya que él nos va a dar el valor del espesor de la costra.- El papel de filtro debe ser limpiado a fin de quitarle el exceso de lodo, con un suave flujo de agua, antes de ser medido.- Su valor debe ser de mas o menos 1/32" por cada 3 ó 4 c.c. de filtrado.- Este valor del espesor de la costra se mide con el "Filter Bake Gage".

### pH

Otra de las pruebas importantes del lodo de perforación, es su pH, ó sea el grado de concentración de iones hidrógeno que tiene, el cual indica la relativa acidéz o alcalinidad del fluido.

La escala de pH tiene valores desde 1 hasta 14.- Como base de esta escala se ha tomado el agua destilada con un pH=7 (solución neutra).- Todos los valores del pH menores de 7 indican que la solución es ácida y el grado de acidéz va aumentando a medida que el

pH se acerque a 1.- Por el otro lado, todos los valores del pH mayores de 7 indican que la solución es alcalina y el grado de alcalinidad va aumentando a medida que el pH se acerque a 14.- Los números del pH son una función de la concentración de iones hidrógeno en grmol/litro.- Si la concentración de iones hidrógeno (H) es alta, la solución será altamente ácida.- Si por el contrario la concentración de iones hidrógeno es baja, la solución será altamente alcalina.- Numéricamente el pH se define como el logaritmo de la inversa de (H) en grmol/litro ó sea:

$$\text{pH} = \log \frac{1}{(\text{H})}$$

Si la solución es neutra, las concentraciones hidrógeno y oxidrilo serán iguales é igual a  $1 \times 10^{-7}$ ; ó sea:  $(\text{H}) = (\text{OH}) = 1 \times 10^{-7}$  y el valor de su pH será:

$$\text{pH} = \log \frac{1}{1 \times 10^{-7}} = \log 10^7$$
$$\text{pH} = 7$$

Valores del pH comprendidos entre 5 y 7 se consideran ligeramente ácidos.

Valores del pH debajo de 5 se consideran altamente ácidos.

Valores del pH comprendidos entre 7 y 9 se consideran ligeramente alcalinos.

Valores del pH encima de 9 se consideran altamente alcalinos.

Rara vez es permitido que un lodo de perforación tenga un pH menor de 6.- Sin embargo hay muchos lodos y particularmente aquéllos a base de almidón en que el valor del pH varía de 11.5 a 12.2.- Por lo general el pH debe siempre estar arriba de 9.5.-



### COLORIMETROS INDICADORES

Estos colorímetros se usan para medir el valor del pH del fluido, basados en la habilidad de ciertos tintes orgánicos de desarrollar colores característicos cuando se encuentran en contacto con el fluido cuyo pH se desea conocer.- Es con el color que tome el líquido y de su comparación con los colores de la carta, que se obtendrá el valor del pH del fluido.- Estos tintes pueden ser mezclados, obteniéndose una serie de colores de acuerdo al ancho rango de los valores del pH.

El líquido indicador siempre se usa acompañado de una carta de color en la que se indica los colores del pH y sus correspondientes valores.- Cuando el filtrado es claro o transparente y el operador es experimentado, el líquido indicador puede ser agregado directamente al filtrado y determinar el valor del pH comparando el color del filtrado con el color de la carta.- Pero sucede que generalmente los filtrados no son transparentes sino que tienden a ser turbios, en estos casos para hallar el pH se usa el tipo de tiras de papel ó "strip type pH papers", que consiste de un papel de tornasol previamente tratado con sustancias químicas y que toma un color específico al ser colocado sobre la superficie del fluido.- A cada color corresponde un número de la escala, indicativo del grado de acidéz o alcalinidad del líquido, ó sea, su pH.

### VELOCIDAD DE GEL

La velocidad de Gel se mide por el número de segundos que una determinada cantidad de lodo contenido en un recipiente standard requiere para volver a su estado de reposo, después de haber estado sometido a un movimiento de rotación por medio de una cucharita.

Para tener un mejor éxito en esta prueba, se debe tener muy en cuenta lo siguiente:

a) El recipiente de prueba debe llenarse exactamente hasta la marca.

b) Debe agitarse el lodo antes de la prueba.

c) La cucharita debe introducirse casi hasta el fondo del recipiente y debe girarse el lodo lo mas rápidamente posible.

d) Con un cronómetro se debe comenzar a contar el tiempo, desde el preciso instante en que se retira rápidamente la cucharita del recipiente, hasta el instante en que el lodo cesa completamente su movimiento de rotación.- El cese del movimiento del lodo puede verificarse en la sombra que la cucharita forma en la superficie del lodo cuando ésta se encuentra cruzada sobre los bordes del recipiente.

La Velocidad de Gel es siempre inversamente proporcional a la Viscosidad.

### FUERZA DE GEL .-

Una de las características mas comunes en los fluidos de perforación es la gelatinización o coagulación que tiene lugar cuando se les permite permanecer en estado estático por un cierto tiempo.- Esto puede verse claramente en los estanques para barro o en cualquier recipiente lleno con lodo de perforación.- Barros con alta fuerza de Gel causan aveces considerables dificultades en el restablecimiento de la circulación, es por ésto, que la fuerza de Gel debe ser estrictamente necesaria para prevenir la decantación de los materiales pesados

contenidos en el lodo.

El método usado en el campo para determinar la fuerza de Gel es usando el embudo Marsh y el método se aplica inmediatamente después de haberse tomado la viscosidad en el embudo y se procede de la siguiente manera: Se llena nuevamente el embudo con el mismo lodo y se cierra su salida con un tapón de madera.- Se mantiene el lodo en reposo durante 10 minutos, después de los cuales se le toma la viscosidad sin agitarlo.- El aumento de viscosidad sobre la original, se reporta como medida de la Fuerza de Gel.- El aumento de la viscosidad no debe ser mayor de 7 segundos.

Otra manera de determinar la fuerza de Gel en el campo, es la siguiente:

Después de haber sido tomada la prueba de la velocidad de Gel, se deja el lodo en reposo por unos 2 minutos.- Enseguida se cuelga la cucharita probadora del borde del recipiente de prueba y se le deja descansar suavemente sobre la superficie del lodo que está en el recipiente.- El ángulo en el cual la cucharita cesa de hundirse se lee en una de sus caras y su valor en grados, es el de la Fuerza de Gel del lodo.

Para conseguir una mejor apreciación en la lectura se debe tener en cuenta lo siguiente:

- a) El lodo debe llenar el recipiente exactamente hasta la **marca.**
- b) Se debe evitar vibraciones del recipiente durante la **prueba.**
- c) Debe protegerse la cucharita del viento .
- d) Se debe comenzar la prueba exactamente dos minutos después de terminada la prueba de Velocidad de Gel.

PRUEBAS DE LABORATORIO.

DENSIDAD.-

Esta prueba se realiza en la balanza Baroid y ya ha sido ampliamente tratada en la prueba de campo respectiva.- Como se verá la balanza Baroid se usa tanto en el campo como en el laboratorio.

VISCOSIDAD (Figura # 5)

Es aparato que mas se usa en el laboratorio es el Viscosímetro Stormer debido a su gran precisión.- Es un instrumento de torsión en el cual un peso colocado en el extremo de una cuerda hace girar por medio de una rueda de engranaje al eje que va dentro del recipiente de lodo, el cual se introduce en un baño de agua.- Hay una aguja que marca en un tambor graduado del 0 al 100, las revoluciones que da el eje dentro del fluido.- El aparato se supone calibrado para hacer 600 r.p.n.

MANERA DE OPERAR .-

1°.- Llene el depósito con lodo hasta 1/4" del tope, atornille el émbolo al eje giratorio y haga que el baño de agua esté a mas de la mitad del recipiente.

2°.- Agite el barro, usando el carrito de la cuerda. Coloque las pesas en la cuerda y ajuste la aguja un poco antes del cero, quite el seguro y deje rotar.

3°.- Tome el tiempo desde el momento que la aguja pasa por el cero, hasta que la misma después de haber recorrido toda la circunferencia del tambor vuelva a pasar por cero.

4°.- Agregue pesas a la línea si la aguja recorre la circunferencia del tambor en mas de 10 segundos, o mejor dicho, ajuste el peso en la línea hasta que las 100 revoluciones sean recorridas por la aguja exactamente en 10 segundos.

5°.-Sumar el valor de las pesas de la línea y obtener el valor de la Viscosidad dne gramos, para que luego en una tabla de conversión se obtenga su valor en centipoises(cps.)

También en el laboratorio se usan los viscosímetros "Garrison" que determina la viscosidad plástica en centipoises y el "yield valve" o sea la fuerza necesaria para vencer la gelificación del barro en lbs/100 ft<sup>2</sup> y el Viscosímetro "Fann V-G" que es una combinación del "Garrison" y del "Stomper" y que determina la Viscosidad plástica, Yield Valve y Gelificación.

#### VISCOSIMETRO GARRISON .-

Este aparato consta de un depósito para el lodo, el cual tiene un rotor que gira a 900, 600, 400, 225 y 100 r.p.m.- Se basa en la torsión efectuada por un alambre al girar el recipiente para el lodo.- De este recipiente penden dos alambres, el superior que es el que produce la torsión y la medida arbitrariamente en una escala y el inferior que está sumergido en un baño de aceite y cuya torsión es nula en todo momento.- En este viscosímetro se opera de la siguiente manera:

a) Se coloca en la plataforma el recipiente con el rotor y el fluido y se le atornilla al eje motriz.

b) Se pone la velocidad en 900 r.p.m. y se deja rotando de 9 a 12 minutos.- Se lleva a cero la escala de la plataforma y se lee la medida en la escala superior.

c) Se cambia la velocidad a 600 r.p.m. y se hace girar el rotor manteniendo la escala de la plataforma en cero, por unos 3 ó 5 minutos. Si la escala inferior no permaneció en cero durante ese tiempo, se le coloca en cero y se deja rotando un minuto mas y así sucesivamente hasta que el cero coincida con el envase.

d) Se pasa a la de 400 r.p.m. y se hace lo mismo que con la de 600 y así sucesivamente con la de 225 y 100 r.p.m.

Con los valores leídos en la escala superior se traza una curva de viscosidad sin tomar en cuenta el de 900 r.p.m.

Las coordenadas para trazar la curva son:

En el eje de las abscisas se colocan los valores de la escala superior (0 a 100).

En el eje de las ordenadas los valores de las velocidades (100-225-400-600).

Se plotean los puntos.- Uniendo los puntos de 100, 225 y 400, se obtiene el valor real de la de 600 r.p.m., y el valor a 0 r.p.m.

La diferencia de ambos valores, multiplicado por una constante, nos dá la viscosidad plástica en centipois.

El Yield Valve se obtiene multiplicando el valor real a 0 r.p.m. por la constante (1.6) y se expresa en lbs/100 ft<sup>2</sup>.

#### VISCOSIMETRO FANN V-G .-

En este aparato existen dos velocidades de 600 y 300 r.p.m. cuyos cambios pueden hacerse con el motor funcionando.- El modo de operar en este viscosímetro es el siguiente:

a) Se introduce el rotor en el lodo hasta su enrase.

b) Se hace funcionar el motor a 600 r.p.m.- Mediante una llave auxiliar se acelera el motor por unos 20 segundos a fin de romper toda gelificación, luego se vuelve a 600 r.p.m. y se mantiene así hasta que la escala del aparato marque un valor constante.- Se anota ese valor.

e) Con el motor en funcionamiento se pasa a 300 r.p.m. y se deja hasta que la escala marque un valor constante, el cual también se anota.

La viscosidad plástica, es igual a la diferencia de las lecturas de 600 y 300 r.p.m. y se expresa en centipois.

El "Yield Value" es igual a la diferencia entre la lectura de 300 r.p.m. y la Viscosidad plástica y se expresa en lbs/100 ft<sup>2</sup>.

El valor de la Gelificación se obtiene así:

Una vez leída la lectura de 300 r.p.m., se cambia a 600 y se agita a alta velocidad por 15 ó 20 segundos.- Se para la transmisión en el punto neutro y se para el motor.- Se deja en reposo durante 10 minutos, después de lo cual se hace girar el rotor con la mano, moviendo el disco en forma lenta y continúa en el sentido contrario a las agujas del reloj.- La máxima deflexión que da la escala, indica la gelificación por 10 minutos expresada en lbs/100 ft<sup>2</sup>.

#### F I L T R A D O

En el laboratorio, esta prueba se realiza en el mismo filtro presa que se usa para la prueba de campo, del cual nos hemos ocupado ya anteriormente.

#### pH (Figura # 6)

Para la determinación del pH en el laboratorio, se usan instrumentos del tipo de electrodo de vidrio que se conocen con el nombre de potenciómetros "Beckman" y que son universalmente usados por su gran precisión.- Este instrumento está graduado de 0.1 en 0.1 de pH y tiene una aproximación de 0.05.- Antes de realizar la prueba con el lodo mismo, se debe proceder a regular el instrumento, para ésto se usa una solución llamada "Buffer" y cuyo pH es conocido (10).- La corrección o ajuste para conseguir este valor, se hace por medio de una perilla que se encuentra en el tablero del instrumento.- Una vez calibrado el aparato, se procederá a lavar el pequeño envase plástico de la solución,

así como también los electrodos que han estado en contacto con la misma, estos últimos deben lavarse con agua destilada, para luego secarlos en la mejor forma posible.- Seguidamente se colocará en el envase el fluido cuyo pH se desea determinar y se le colocará en contacto con los electrodos para luego leer el valor del pH en el galvanómetro.

### ALCALINIDAD

La determinación de la alcalinidad y acidéz fue discutida con el método del pH, pero estas propiedades pueden cambiar aún existiendo un pH constante.- Esto se debe a la característica de los diferentes iones presentes en la solución y además a la escala logarítmica del pH.- La alcalinidad de un líquido de alto pH puede variar considerablemente sin registrarse un cambio apreciable en el pH.- Un análisis de valoración del filtrado es mas significativo que una prueba de pH en aquéllos fluidos de gran concentración alcalina como los lodos rojos y los lodos a base de cal.

METODO VOLUMETRICO: Se valora la solución, neutralizándola con un ácido fuerte ( $H_2SO_4$ ).

APARATOS: 1) Matraz pequeño. 2) Bureta y pipeta graduadas. 3) Fenoltaleína (indicador). 4) Acido sulfúrico (N/50).

OPERACION: 1) Mida con una pipeta uno o mas c.c. del filtrado en un matraz de 125 c.c. 2) Agregue dos o tres gotas de fenoltaleína, formándose una solución roja.- Añada ácido sulfúrico (N/50) usando una bureta graduada hasta que desaparezca el color rojo.

El valor de la alcalinidad esta dado por la relación que existe entre la cantidad de c.c. de ácido sulfúrico necesaria para neutralizar la solución y el número de c.c. de la muestra.

### FUERZA DE GEL INICIAL.

Se toma en el Viscosímetro Storner é inmediatamente después



de haberse tomado la Viscosidad y su medida se satisface haciendo rotar el cilindro (1/4 de vuelta) dentro del lodo, previa agitación de la muestra en el mismo viscosímetro.- A veces es necesario añadir pesos a fin de conseguir la medida deseada.- Su valor se expresa en gramos.- Es natural que sino se hace uso de pesos adicionales, el valor de la fuerza de gel inicial será cero gramos.

#### FUERZA DE GEL A LOS 10 MINUTOS.-

Una vez tomada la fuerza de gel inicial, se deja reposar la misma muestra de lodo durante diez minutos y se procede de la manera anterior pero sin previa agitación.- Su valor también se expresa en gramos.

#### SHEAROMETRO.-

También sirve para determinar la fuerza de gel.- Para ello se usa un vaso y un cilindro hueco de aluminio.

Para la realización de la prueba se llena el vaso con el lodo al cual ha sido agitado durante unos 15 minutos , luego se deja que el cilindro hueco de aluminio caiga en forma vertical y suavemente dentro del lodo, durante 5 segundos.- La parte del cilindro no sumergida dentro del lodo se mide en una escala apropiada donde se lee la fuerza de gel en términos de fuerza por unidad de área.- Así determinamos la fuerza de gel inicial.- Si el cilindro se introdujera totalmente en la muestra durante los 5 segundos, el valor de la fuerza de gel inicial sería cero.

Una vez terminada la prueba, se deja reposar el lodo contenido en el vaso o copa por unos 10 minutos para luego tomar una segunda prueba análoga a la anterior y cuyo valor expresado también en fuerza por unidad de área, nos dará la medida de la fuerza de gel a los 10 minutos.- Un buen lodo debe tener una fuerza de gel inicial menor de

, #/100 ft<sup>2</sup> y una fuerza de gel a los 10 minutos menor de 10#/100 ft<sup>2</sup>, cuando las medidas se hayan hecho con el medidor de gel "Baroid".

#### CONTENIDO DE SAL

La presencia de sales en el lodo ocurre cuando se presentaciones de sal o cuando hay invasión de agua salada en el hueco.- En aquéllas regiones donde es probable la contaminación, es indispensable analizar el fluido con frecuencia y cuando el contenido de cloruros es mas o menos 6000 p.p.n. es necesario hacer un tratamiento especial al fluido.

El porcentaje de sal en el fluido de perforación se determina por el método colométrico que consiste en valorar el filtrado del fluido con una solución de Nitrato de Plata.- Se utiliza para élllo lo siguiente:

- a) Una bureta graduada
- b) Una pipeta de 10 c.c.
- c) Un matráz
- d) Solución de Nitrato de Plata que contiene 29.066 gr/lt.  
(Corresponden a 0.01 gramos de CINA por c.c.)
- e) Cromato de potasio
- f) Agua destilada

La operación se lleva a cabo de la siguiente manera:

- a) Verter en el matráz 50 c.c. de agua destilada
- b) Medir un c.c. con la pipeta y agregárselo al matráz
- c) Añadir 4 ó 5 gotas de cromato de potasio hasta que el conjunto tome un color amarillo.
- d) Ver que la solución de NO<sub>3</sub>Ag en la bureta marque cero
- e) Añadir la solución de NO<sub>3</sub>Ag agitando a la vez el conjunto hasta que del color amarillo que tenía, vire a anaranjado o un color rojizo.

f) Leer en la bureta el número de c.c. utilizados y multiplicarlo por 1,000 o por 10,000 según que se use 0.001 ó 0.01 gramos de solución de  $\text{NO}_3\text{Ag}$ .

g) El porcentaje de sal estará dado por la diferencia entre lo anterior y el porcentaje de sal que tenga el agua destilada.- Su valor se expresa en p.p.n.

#### FACTOR DE CAL

El factor de cal se realiza con el filtrado de fluido, utilizando el potenciómetro "Beckman" y una solución de ácido sulfúrico (1/50N) que se encuentra en una bureta graduada.

La prueba se realiza de la siguiente manera:

a) Se determina el pH del filtrado con el potenciómetro y se lee al mismo tiempo el valor que determina la superficie libre de la solución en la bureta graduada, anotándose este valor como primera lectura (Para mayor exactitud en la lectura se debe procurar que la superficie libre de la solución coincida con una división exacta de la graduación de la bureta).

b) Se añade gota a gota la solución, de modo de bajar el pH a un valor de 8.3 y se procede como en el caso anterior a la segunda lectura.

c) Se hace la diferencia entre la primera y segunda lecturas.

d) Se continúa por adición controlada de la solución, bajando el pH del filtrado hasta el valor de 4.4, procediéndose a la tercera lectura.

e) Se hace la diferencia entre la segunda y tercera lecturas.

f) El cociente entre estas dos lecturas se denomina Factor de Cal y su valor es siempre menor que la unidad.

### CONTENIDO DE CAL

Para la determinación del contenido de cal de un lodo, se procede de la siguiente manera:

a) Se toma 1 c.c. del lodo en un envase y se le diluye con 50 c.c. de agua destilada.

b) Se agrega al lodo dos o tres gotas de fenoltaleína (indicador)

c) Agitando continuamente el conjunto, se añade con una bureta o pipeta en forma rápida una solución de ácido sulfúrico de N/50).- Si el contenido de cal debe ser mayor de 10  $\frac{f}{bbl}$ . se usará ácido de N/10.- Esta adición del ácido se hará hasta que la muestra vire de rojo al color del lodo.- La relación entre los c.c. de ácido utilizados y los c.c. de la muestra tomada se designa por Pn (Alcalinidad del lodo).

d) Se determina la alcalinidad del filtrado por el método corriente, valor que se designa por Pf.

e) El contenido de cal es calculado por la siguiente fórmula:

$$D = 0.26 (Pn - 3 \times Pf)$$

D = contenido de cal en  $\frac{f}{bbl}$ .

Pn = c.c. de  $SO_4H_2$  (N/50) requeridos por c.c. de lodo

S<sub>2</sub> = Fracción líquida del lodo (El porcentaje de agua en volumen que contiene el lodo, dividido por 100).

Pf = c.c. de  $SO_4H_2$  requeridos por c.c. de filtrado.

En la página hay un nomograma que permite conocer en forma fácil y rápida las libras de cal necesarias por barril de lodo.

### CONTENIDO DE ARENA

Es conveniente periódicamente determinar el contenido de

arena de un lodo de perforación, ya que una excesiva cantidad de arena en el lodo puede resultar en la deposición de un grueso enlucido en la pared del pozo, o puede sedimentarse en el hueco, en torno de las herramientas, caso que la circulación sea paralizada, interrumpiendo de este modo la perforación y la puesta de los forros(casing).- También un alto contenido de arena puede causar una excesiva abrasión en la bomba y en las conexiones de la cañería.

El contenido de arena de un fluido de perforación se determina por Decantación, Sedimentación, o Análisis de Malla.- De los tres, el mas usado es el último.- El volumen de arena, incluyendo los espacios vacíos entre los granos, es usualmente medido y expresado como porcentaje por volumen del lodo.

Los aparatos usados para el efecto son los siguientes:

- a) Un tamíz de malla 200
- b) Un embudo
- c) Un tubo de vidrio de medida, que esta calibrado de 0 a 20% y en el que se lee directamente el porcentaje de arena en volumen.

La prueba se realiza de la siguiente manera:

- a) Verter el lodo en el tubo de Vidrio hasta una marca especial que dice: Lodo hasta aquí ("Mud to here").- Agregar luego agua, hasta una segunda marca que dice: Agua hasta aquí ("water to here"), cubrir seguidamente el extremo libre del tubo con el pulgar y agitar vigorosamente.

- b) Verter toda la mezcla a través del cedazo, teniendo cuidado de dejar completamente limpio el tubo para lo cual se le lava con agua pura.- Luego se lava con agua toda la arena retenida en el cedazo, a fin de quitarle el lodo y demás partículas de greda que tuviere.

- e) Colocar el embudo suavemente en la parte saliente del

cedase y adaptar el conjunto en el extremo libre del tubo de vidrio, para luego con una fina rociada de agua pura, permitir que la arena se deposite en el tubo.

d) La cantidad de arena que ha quedado sedimentada en el tubo de medida, se dá como contenido de arena en el lodo y su valor es expresado como porcentaje en volúmen.

Un lodo de perforación debe tener como máximo, un contenido de arena de 2 a 3%.

CAPITULO IV

PROPIEDADES FISICAS DEL  
LODO.

CONTROL Y RECOMENDACIONES.

**PROPIEDADES FISICAS DEL LODO : CONTROL Y RECOMENDACIONES.-**

**DENSIDAD:** El control de la densidad de un lodo de perforación se hace teniendo en cuenta la profundidad y el tipo de formación que se está atravesando.

Los aumentos pueden obedecer a las siguientes causas:

a) Incorporación de materiales sean o no coloidales a medida que avanza la perforación.- En el primer caso se tendrán aumentos sensibles de Viscosidad, y en el segundo caso se tendrán variaciones muy reducidas de ella.

b) Alto filtrado, provocando un aumento del porcentaje de sólidos de la inyección, sin que haya necesariamente incorporación de éstos.

Las disminuciones pueden obedecer a las siguientes causas:

a) Dilución por agua, como es lógico el lodo se hará mas ligero y por lo tanto pesará menos.

b) Incorporación de gas, se presenta cuando se perforan zonas gasíferas en las cuales este fluido se emulsiona con el lodo.

Los siguientes agregados son necesarios para controlar la densidad de un lodo.

Baritina : Aumenta la densidad

Bentonita: Aumenta la densidad

Agua : Disminuye la densidad

Oxido de Hierro: Aumenta la densidad

Carbonato de calcio: Aumenta la densidad (muy poco)

A continuación expondré dos fórmulas, la primera dará la cantidad de material densificante necesaria para aumentar la densidad del lodo y la segunda, la cantidad de agua necesaria para disminuirla.



FORMULA PARA AUMENTAR EL PESO DE UN LODO

$$W_3 = \frac{42 V_1 \Delta W}{1 - 0.12 \frac{W_2}{G}}$$

$$\Delta W = W_2 - W_1$$

$W_1$  = densidad inicial del lodo en #/gal.

$W_2$  = densidad final del lodo en #/gal.

$W_3$  = peso del material densificante que se debe añadir en #

$V_1$  = Volúmen original de lodo en bbls.

$G$  = Gravedad específica del material densificante.

FORMULA PARA DISMINUIR EL PESO DE UN LODO

$$X = \frac{V \Delta W}{8.33 - W_2}$$

$W_1$  = densidad original del lodo en #/gal.

$W_2$  = densidad final del lodo en #/gal.

$X$  = galones de agua en el sistema

$V$  = galones de lodo en el sistema.

Seguidamente daré en una tabla la cantidad de sacos de baritina en óxido de hierro que son necesarios para aumentar la densidad ( sea

en #/gal. o en #/ft<sup>3</sup>) de 100 bbls. de un lodo.

**SACOS DE BARITA U OXIDO DE HIERRO DE 100# PARA AÑADIR A 100bbls. DE LODO**

LIBRAS - P O R - G A L O N		LIBRAS- P O R- P I E- C U B I C O	
Peso final (#gal.)	(Sacos para aumentar) Peso en #/gal.)	Peso final en #Gal.	Sacos para aumentar peso en #/ft <sup>3</sup> .
8.5	55.5	67.5	7.57
9.0	56.5	70.0	7.67
9.5	57.7	72.5	7.77
10.0	58.8	75.0	7.87
10.5	60.0	77.5	7.98
11.0	61.3	80.0	8.09
11.5	62.6	82.5	8.20
12.0	63.9	85.0	8.32
12.5	65.3	87.5	8.44
13.0	66.8	90.0	8.56
13.5	68.4	92.5	8.68
14.0	70.0	95.0	8.81
14.5	71.7	97.5	8.95
15.0	73.5	100.0	9.09
15.5	75.4	102.5	9.23
16.0	77.4	105.0	9.38
16.5	79.5	107.5	9.53
17.0	81.7	110.0	9.68
17.5	84.0	112.5	9.85
18.0	86.5	115.0	10.02
18.5	89.1	117.5	10.19
19.0	91.9	120.0	10.37
19.5	94.9	122.5	10.56
20.0	98.0	125.0	10.75

Para encontrar el aumento de volumen del lodo cuando se añade un material densificante se multiplica 0.068 por el N° de sacos de 100# de material agregado ya que 100 sacos del mismo (de 100# cada saco) ocupan 6.8 Bbls.

A continuación expondré una tabla que relaciona la densidad, gravedad específica y gradiente de presión del fluido de perforación.

#/gal.	#/ft <sup>3</sup>	sp.gr.	#/ln <sup>2</sup> /ft.
8.34	62.38	1	0.4328
8.7	65.08	1.04	0.4515
9.0	67.32	1.08	0.4671
9.4	70.31	1.13	0.4879
10.0	74.70	1.20	0.5190
10.7	80.04	1.28	0.5553
11.0	82.38	1.32	0.5709
11.4	85.27	1.37	0.5917
11.8	88.26	1.42	0.6124
12.0	89.76	1.44	0.6228
12.4	92.75	1.49	0.6436
12.7	95.0	1.52	0.6591
13.0	97.24	1.56	0.6747
13.4	100.23	1.61	0.6955
13.7	102.48	1.64	0.7110
14.0	104.72	1.68	0.7266
14.4	107.71	1.73	0.7474
14.7	109.96	1.76	0.7629
15.0	112.20	1.80	0.7758
15.4	115.19	1.85	0.7993
16.0	119.68	1.92	0.8304
16.7	124.92	2.0	0.8667

#/gal.	#/ft <sup>3</sup>	sp.gr.	#/ln <sup>2</sup> /ft
17.0	127.16	2.04	0.8823
18.0	134.64	2.16	0.9342
19.0	142.12	2.28	0.9861
20.0	149.60	2.40	1.038

El lodo debe tener una densidad tal que supere en 200-300 psi. la presión esperada en la formación cuando se trata de perforaciones menores de 6000 pies de profundidad y en 300-500 psi para profundidades mayores en áreas probadas.- Cuando se encuentran formaciones de presión anormal se debe tener especial cuidado en la densidad del lodo.- Por yacimiento de presión anormal se entiende aquél cuya presión es mayor que la ejercida por una columna de agua salada, o sea, que su gradiente de presión sea mayor de 0.465 psi/ft.

VISCOSIDAD.- Las variaciones experimentadas en la Viscosidad de un fluido de perforación se deben a diversas causas.- A continuación anumerará las principales.

Los aumentos de Viscosidad pueden obedecer a las siguientes causas:

a) Cuando se están atravesando formaciones de estratos arcillosos que al ser cortados por la broca y agitadas por circulación se incorporen al lodo de perforación.

b) Envejecimiento de la suspensión, provocando un aumento en la Viscosidad, también ocurre el aumento de la dispersión por la prolongada agitación.

c) Una larga permanencia de lodo de perforación a elevada temperatura, provoca un aumento irreversible de la Viscosidad, ignorándose hasta el momento el motivo.

d) Cuando se atraviesan estratos salinos, especialmente cuando hay contaminación con sales de calcio.- Al atravesar arcillas calcáreas yeso o calizas, estos pueden intercambiar iones con la arcilla, la que gradualmente se irá transformando en calcio-arcilla de menor disociación e hidratación, es decir, habrá flocculación parcial y por ende, aumento de Viscosidad; si la contaminación prosigue, la Viscosidad se reducirá.

e) Cuando hay contaminación con agua salada.- Aquí también hay flocculación e inicialmente aumentará la Viscosidad y si la contaminación continúa, aquélla disminuirá.

f) Cuando existe contaminación con cemento.- Aquí habrá también un fuerte aumento en el valor del pH, debido al hidróxido de calcio que contiene el cemento fraguado, el cual a su vez aumentará la Viscosidad.- Existe además flocculación por calcio.

g) Cuando hay contaminación por gas y/o petróleo.

Las disminuciones de Viscosidad pueden abedecer a los siguientes motivos:

a) Cuando existe dilución por entradas de agua.

b) Por estados avanzados de flocculación causadas por las anotadas anteriormente.

Los siguientes aditivos son utilizados para controlar la viscosidad de un lodo de perforación:

**Agua: Disminuye la Viscosidad**

**Bicarbonato de Sodio: Disminuye la Viscosidad**

**Soda Ash: Disminuye la Viscosidad**

**Carbonato de Bario: Disminuye la Viscosidad**

**Pirofosfato ácido de Sodio: Disminuye la Viscosidad**

**Hexametáfosfato de Sodio: Disminuye la Viscosidad.**

**Tetrafosfato de Sodio:** Disminuye la Viscosidad

**Caústico y quebracho (Tanato de Sodio):** Disminuye la Viscosidad. (Químicas 1:1, 1:2, 1:5).

**Bentonita:** Aumenta la Viscosidad

**Soda Cáustica:** Aumenta la Viscosidad.

**Tanino:** Reduce la Viscosidad

**Fosfato de Na:** Reduce la Viscosidad.

La Viscosidad de un lodo de perforación debe ser mantenida en un valor ligeramente mayor que aquél necesario para asegurar un pozo limpio y en buenas condiciones durante los flajes de la cañería de perforación ("drill pipe").

A continuación expondré en un cuadro, valores de Viscosidades, satisfactorios a diferentes profundidades.

<u>PROFUNDIDAD (Ft)</u>	<u>VISCOSIDAD MARSH (seg)</u>
0 - 3,000'	27 - 34
3,000- 5,000	32 - 40
5,000- 4,500	38 - 50
4,500-10,000	45 - 60
10,000 más	50 - 60

Esta tabla no es necesariamente aplicable a lodos tales como los de base de petróleo o de silicato de sodio, en los cuales se toman en cuenta consideraciones que hacen variar los valores de la Viscosidad dados en la tabla.

En lo que se refiere a la Viscosidad se debe tener en cuenta lo siguiente:

a) Viscosidades menores propician progresos mas rápidos en la perforación.

b) Viscosidades promueven mejores condiciones del pozo.

De modo que un buen programa de lodo comprometerá estos dos

principios, permitiendo un mayor progreso en la perforación y las mas seguras condiciones del pozo.

Si durante la perforación se encuentran obstrucciones o puentes dentro del pozo, permaneciendo satisfactorias las otras propiedades del lodo, la solución está en aumentar la Viscosidad del lodo en tres o cinco segundos.

Este pequeño aumento de la Viscosidad no afectará mayormente sobre los progresos de la perforación.

**FILTRADO.-** Se debe procurar que el filtrado de un lodo de perforación sea bajo, lo cual implica:

a) Evitar desmoronamientos y consiguientes aprisionamientos, por efecto del agua al desintegrar aquéllas formaciones arcillosas y gredosas.

b) Evitar los aprisionamientos por excesivo enlucido ("mud cake")

c) Permitir la perforación y enturbación de grandes tramos de pozo abierto sin ningún peligro.

d) Permite maniobras de perfilaje eléctrico durante tiempos prolongados.

Los aumentos del filtrado obedecen a las siguientes causas:

a) Contaminación con agua salada.

b) Disminución de coloides.

c) Un grande aumento de impurezas o fuertes agregados de densificantes, disminuyen la proporción relativa de coloides, provocando aumentos de agua filtrada que no tiene mayor importancia.

d) Contaminación con las sales del terreno.

e) Contaminación con cemento.

f) Dilución por agua.

Las disminuciones del filtrado obedecen a las siguientes causas:

a) Aumento de coloides de las partículas en suspensión.- Cuando se atraviesa una zona donde no existan contaminaciones con iones de calcio o con aguas saladas se observa una reducción en el filtrado a medida que transcurre el tiempo de circulación.

b) Disminución grande de impurezas.

Los siguientes son los agregados necesarios para controlar el filtrado de un lodo de perforación:

Agua: Aumenta el filtrado

Dricose: Disminuye el filtrado

Química 1:1, 1:2, 1:5: Disminuye el filtrado

Acido Tánico (quebracho): Disminuye el filtrado

Carbonato de Sodio: Aumenta el filtrado

A continuación mostraré en una tabla valores satisfactorios del filtrado a determinadas profundidades.

<u>PROFUNDIDAD (Ft)</u>	<u>FILTRADO MAXIMO PERMISIBLE (c.c.) en 30 min.</u>
1,000 - 3,000	30.0
3,000 - 5,000	15.0
5,000 - 7,500	10.0
7,500 - 10,000	7.5
10,000 - más	5.0

Cabe mencionar que esta tabla se cumple para operaciones normales de perforación.

Indicaré seguidamente los rangos de filtración de lodos tratados con los aditivos mas comunes.



<u>TIPO DE TRATAMIENTO</u>	<u>FILTRADO (c.c.) en 30 min,</u>
Ninguno	30 - 15
Fosfatos Complejos	12 - 6
Quebracho-Cáustico	10 - 5
Tanato Alcalino y Cal	8 - 4
Almidón con alto pH	3 - 0.5

pH.- Todos los lodos de perforación son casi invariablemente alcalinos o sea que caen dentro del rango de 7 a 14 de pH.

La contaminación del lodo por el cemento hace aumentar su pH debido al hidróxido de calcio que produce el cemento al fraguar.

Los siguientes son los aditivos utilizados para controlar el pH de un lodo de perforación:

Extracto de quebracho: Disminuye el pH

Carbonato de Sodio: Aumenta el pH

Soda Cáustica: Aumenta el pH.

A continuación expondré unas tablas de valores relacionados con el pH y que a mi juicio son de gran interés:

pH DE LOS LODOS MAS COMUNES

<u>TIPO DE LODO</u>	<u>pH</u>
1.- Lodo de Arcillas naturales y aquéllos que han sido tratados con fosfatos complejos.	7 - 9
2.- Lodos de Tanato Alcalino	9 - 11
3.- Lodos de Tanato Alcalino y Cal	10 - 12
4.- Lodos de Almidón	11.5 - 13.0
5.- Lodos Salados con bajo contenido de sólidos	6.5 o más
6.- Lodos de Carbonato de Sodio-Quebracho	9.0
7.- Lodos Tratados con fosfatos ácidos	7.5 - 8.5
8.- Lodos Tratados con fosfatos alcalinos	9.0 - 9.5

- 9.- Lodos Rojos con bajo pH o lodos de Soda Cáustica  
Quebracho. 9.0 - 10.5
- 10.- Lodos con alto pH o Soda Cáustica-Quebracho 11.5 o más
- 11.- Lodos a base de Calcio y Cal 12.5 o más

pH DE LOS PRODUCTOS MAS COMUNES

<u>NOMBRE COMUN</u>	<u>NOMBRES DE FABRICA</u>	<u>pH</u>
Bentonita		7.0
Barita		8.0
Almidón	Impermex	5.0
Sodio Metil Carboxilo Celulosa	C.M.C. Driscose	7.0
Fosfato ácido de Sodio	SAEP, "48"	4.5
Hexametáfosfato de Sodio	Hex, Calgon, Hagen	6.0
Tetrafosfato de Sodio	Tetra, Quadrafos, Oilfos	7.5
Tetrapirofosfato de Sodio	TSPP, "99"	9.9
Carbonato de Bario	Anhydrox	10.0
Bicarbonato de Sodio	Bicarb	9.5
Hidróxido de Calcio	Cal	12.5
Carbonato de Sodio	Ceniza de Soda	11.0
Hidróxido de Sodio	Soda Cáustica	14.0

TABLA DE CONCENTRACION IONES (H) Vs. pH

<u>CONCENTRACION IONES H EN mol/lit .</u>	<u>pH</u>
1.0	0
0.1	1
0.01	2
0.001	3
0.0001	4
0.00001	5
0.000001	6

000001	7
0.00000001	8
0.000000001	9
0.0000000001	10
0.00000000001	11
0.000000000001	12
0.0000000000001	13
0.00000000000001	14

### FUERZA DE GEL

La fuerza de gel debe ser la suficiente para mantener en suspensión los materiales pesados que contiene el lodo.- Esta puede ser algunas veces suficientemente alta para cumplir esta función, siempre que no sea demasiado alta para ser registrada en el Viscosímetro Stormer.- Por lo tanto, es mejor probar la fuerza de suspensión del lodo tomando una muestra de 1/4 de galón en la copa del Viscosímetro Marsh y dejándosele permanecer en reposo por una hora.- Si al final de ese tiempo no se ha decantado una capa apreciable de barita, se puede decir que la fuerza de gel inicial es suficientemente alta.

La razón por la que la fuerza inicial del lodo debe mantenerse baja es la siguiente:

La Viscosidad de un lodo de perforación, medida bajo condiciones de flujo continuo, es función de otras dos propiedades del lodo: el valor de la plasticidad y la rigidez.- Bajo condiciones de flujo continuo, el efecto de estas dos propiedades sobre la presión diferencial de flujo depende del tamaño de la tubería o área circular a través de la cual el lodo fluye.- Así con tubería de producción muy pequeña (menor de 2" de diámetro), la rigidez es el factor mas importante; sin embargo, para diámetros mayores, el valor de plasticidad es el factor

determinante.- Ya que en casi todos los pozos profundos el flujo por el espacio anular es continuo, se puede establecer como regla general que el valor de la plasticidad es el factor responsable de la caída de presión en los espacios anulares.- La fuerza de gel inicial entra en estas consideraciones por su estrecha relación con el valor de plasticidad del lodo.- Así, a mayores valores iniciales de fuerza de gel habrá mayores de presión en los espacios anulares.

Aunque la caída de presión en el espacio anular representa como máximo un 25% de la fuerza(en HP) de las bombas de lodo, es importante mantener este valor en un mínimo por las siguientes razones:

a) La excesiva caída de presión en el espacio anular durante la circulación es responsable, en muchos casos, de la pérdida de la misma.

b) El vacío producido en el espacio anular, cuando la tubería de perforación está siendo sacada del hueco, es causa frecuente de que gas y petróleo sean excitados durante el viaje de la cañería.- El efecto neto de estos dos factores es una fuerza de gel baja, que permite mayores libertades en las variaciones del peso del lodo sin traer consigo dificultades por pérdidas de circulación o atentados de reventones.-

Para perforaciones de pozos profundos en áreas donde se esperan altas presiones, se recomienda una fuerza de gel inicial (Stormer) no mayor de 5 gramos y una fuerza de gel a los 10 minutos (stromer) no mayor de 15 gramos.

**CAPITULO V**

**TIPOS DE**

**LODOS DE PERFORACION.**

### TIPOS DE LODOS DE PERFORACION.

El avance de la Perforación rotativa ha tenido su mas caro e ideal exponente en el fluido de perforación.- Es mediante meticolosos estudios y ensayos realizados por los técnicos de la Industria, que se ha podido establecer una serie de tipos de lodos de perforación, los cuales son usados bajo determinadas condiciones.- A continuación indicaré los tipos de lodos mas comunes que se usan en la Perforación rotativa.

#### LODO A BASE DE ARCILLAS NATURALES

Estos lodos se usan generalmente para perforar los primeros mil pies en la mayoría de los pozos.- Sus ventajas principales son: su poco o ningún costo de mantenimiento; pueden controlarse satisfactoriamente con la adición de agua y, en algunas ocasiones, con pocos sacos de bentonita; y casi siempre mantienen un peso suficiente para controlar las presiones de arenas normales que no tengan una gradiente de presión mayor de  $0.46 \text{ #/IN}^2/\text{ft.}$ - Este tipo de lodo puede tener una pérdida de agua relativamente alta ( de 15 a 30 c.e.en 30 minutos) y por esta razón no son satisfactorios para penetrar secciones gruesas de lutitas marinas mas allá de los 4000' de profundidad.- Además, lodos de arcillas naturales no tratados no pueden aumentarse de peso con el empleo de barita, excepto en casos de emergencia.- Las grandes cantidades de agua requeridas para el control de su viscosidad reducen la densidad del lodo y sería necesario agregar cantidades económicas de barita.- Por esto, el tratamiento químico del lodo debe comenzar tan pronto como aparezca la necesidad de aumentarlo de peso.

La técnica para preparar y mantener un barro a base de arcilla naturales es muy sencilla; se prepara revolviendo de 15 a 20 sacos de Bentonita en 100 Bls. de agua.- La viscosidad se debe mantener entre

32 a 36 seg (Embudo March) y la densidad debe ser de 9.4 a 10 #/gal.-  
En muchas formaciones, la sola adición de agua es suficiente para pro-  
ducir un lodo de cualidades satisfactorias; sin embargo, en formacio-  
nes en las cuales predominan arenas o arcillas arenosas, es necesario  
añadir cantidades considerables de bendonita para aumentar la concen-  
tración de materiales coloidales en el lodo.- Un barro de arcillas na-  
turales implica abandono del tratamiento químico; no obstante, en al-  
gunas ocasiones se recomienda añadir unas 100 lbs. de quebracho o pi-  
rofosfato de sodio justamente antes de comenzar la perforación del ce-  
mento en los forros de superficie, para evitar su contaminación.

#### LODOS TRATADOS CON FOSFATOS COMPLEJOS.

Los fosfatos complejos mas comunes usados en los lodos son:  
el Hexametafosfato de Sodio ó "Hazans" o Calgón" y el pirofosfato áci-  
do de sodio (S.A.P.P.).- Estos dos materiales son completamente simi-  
lares y ambos tienen un poderoso efecto de dispersión sobre los lodos  
o base de agudulce (con menos de 2,500 p.p.n.); sin embargo, el piro-  
fosfato ácido de sodio está menos expuesto que el Hexametafosfato a la  
deterioración causada por altas temperaturas.

El uso de fosfatos complejos está limitado, sin embargo, por  
su susceptibilidad, a la degradación por efecto de altas temperaturas  
y a su pérdida de efectividad cuando han sido usados por un período de  
tiempo relativamente largo.- Por todo ésto, es preferible usar el tra-  
tamiento con fosfatos complejos solamente en pozos que son perforados  
a profundidades menores de 7,500' y en los cuales la temperatura del lo-  
do circulante se espera no exceder de 120° F.- En algunos casos, don-  
de es necesario e preferible usar los fosfatos complejos para el trata-  
miento a profundidades en las cuales la eficiencia comienza a perderse,  
debido a las altas temperaturas o al sobre-tratamiento, es posible

restaurar su eficiencia usando los fosfatos conjuntamente con el AeroFlo-40" el cual es una mezcla de un fosfato complejo y un compuesto orgánico nitrogenado llamado Dicyandiamide.

La técnica de la preparación y mantenimiento de un lodo tratado con fosfato complejo es la siguiente:

A un lodo a base de arcillas naturales se le agrega  $\pm 1/4$  lb. de fosfato complejo por bbl. de lodo.- El fosfato se añade en forma de solución y ésta se prepara disolviendo  $\pm 35$  lbs. (1/3 de saco) en cada barril de agua fría, no debe usarse vapor de agua o agua caliente ya que los fosfatos complejos tienden a descomponerse en ortofosfatos inactivos cuando se les calienta.- Después del tratamiento preliminar con fosfatos complejos la viscosidad puede variar considerablemente, de modo que es necesario añadir considerables cantidades de bentonita para restaurar la viscosidad a un valor deseable.

El tratamiento diario consiste generalmente en añadir de 0.10 a 0.25 lbs. de fosfatos complejos por barril de lodo en el sistema.- Como el tiempo de tratamiento aumenta al mismo tiempo que sube la temperatura en la línea de flujo, el barro requiere aumentos continuos en las cantidades de productos químicos para controlar la viscosidad.- Si la cantidad de fosfatos llega a ser mayor de 0.25 lbs. por barril por día, es probable que el lodo esté sobre-tratado y tenga un pH muy bajo, o que la temperatura en la línea de flujo haya aumentado a 120°F y entonces esté ocurriendo la deterioración de cantidades excesivas de productos químicos.- Si se encuentra un pH muy bajo (menor o igual a 7.5) el lodo puede a menudo ser reacondicionado para el tratamiento con fosfatos complejos con la adición de suficiente cantidad de soda cáustica y quebracho hasta llevar el pH a un valor aproximado de 8.5.- Si la temperatura de la línea de flujo indica que



la pérdida de efectividad se debe a la descomposición por el calor, de los fosfatos complejos su uso puede extenderse mediante un tratamiento dosificado de  $\pm$  1/2 lb. de Aeroflo-40" por barril de lodo y después se continúa con una mezcla 50%-50% de Aeroflo-40" y fosfatos complejos para los tratamientos posteriores.

Los lodos tratados con fosfatos complejos por un periodo de tiempo considerable, son, por lo general, completamente resistentes a la contaminación de cemento debido a que tienen alta concentración de productos de degradación de ortofosfatos en la fase de agua de los lodos.- En cambio, los lodos recién tratados con fosfatos complejos son aptos para fuertes contaminaciones, por lo que se le agrega 1 lb. de  $\text{CO}_3\text{Na}_2$  o monofosfato de sodio por barril de lodo antes de comenzar la perforación del cemento.- Si ninguno de estos productos químicos son asequibles, se contrarresta la contaminación agregándole 0.5 lbs. de quebracho por barril de lodo.- Los lodos tratados con sulfatos complejos no deben usarse en formaciones salinas ya que se contaminan con la sal produciendo fuertes floculaciones.

#### LODOS DE TANATO ALCALINO (Rojos)

Los lodos de Tanato alcalino (lodos de quebracho-caústico) son idealmente usados en perforaciones de 3,000' a 8,000' y bajo condiciones normales o moderadamente difíciles.- Son muy poco afectados por elevadas temperaturas y periodos largos de tratamiento.- También son mucho menos sensibles a las contaminaciones de sal o cemento que aquellos lodos de arcillas naturales o los tratados con fosfatos complejos y si hubiera necesidad, pueden convertirse fácilmente en lodos de tanato alcalino y cal o en lodos a base de almidón.

La técnica para preparar y mantener un lodo tratado con tanato alcalino, es la siguiente:

A un lodo a base de arcillas naturales o tratado con fosfatos complejos, se le añade 0.5 lbs. de soda cáustica y 0.5 lbs. de quebracho por barril de lodo en el sistema pudiendo en el caso de un lodo tratado con fosfatos complejos duplicarse la relación.

La solución de quebracho-cáustico para el tratamiento se prepara mezclando 50 lbs. de quebracho y 50 lbs. de soda cáustica por cada barril de agua; agregándose primeramente el quebracho y luego el agua. La forma en que deben agregarse estos productos, depende del sistema de perforación que se emplee.

Después del tratamiento inicial, se añade de 0.1 a 0.2 lb. de cada producto químico, por barril de lodo en el sistema, diariamente. La soda cáustica debe regularse para que el pH se mantenga entre 10 y 11 y el quebracho debe permitir que el filtrado sea de un color rojo oscuro.

Un lodo de tanato alcalino bien acondicionado tiene las siguientes características especiales:

- a) color rojizo
- b) Fuerzas de Gel (inicial y a los 10 minutos), bajas
- c) Alta fluidez.

#### LODOS DE TANATO ALCALINO Y CAL

Estos lodos se emplean en perforaciones de 5000' a 12000' de profundidad y bajo condiciones moderadamente difíciles.- Son inmunes a los efectos de contaminación con cemento, altas temperaturas y tratamientos prolongados.

La técnica de preparación y mantenimiento de este lodo es la siguiente:

El Tratamiento se hace sobre un lodo a base de tanato alcalino.- El tratamiento inicial se hace + 2 lbs.de cal hidratada (con

60 a 70% de cal viva) por barril de lodo en el sistema.- La cal se añade por el embudo a razón de 1 lb. de cal por barril por circulación completa del lodo.- Esta adición de cal, provocará un marcado aumento en la Viscosidad del lodo; en cuanto sea notado aquéllo, se suspenderá la adición de cal y se esperará una o dos circulaciones del lodo hasta que vuelva a su viscosidad normal.- Si aún así, la Viscosidad del lodo permanece alta, se la añadirá soda cáustica y quebracho hasta su normalización.

Un lodo a base de tanato alcalino y cal, debe presentar las siguientes características:

- a) Viscosidad Normal
- b) Fuerzas de Gel bajas
- c) Bajo filtrado.

Para el mantenimiento del lodo de tanato alcalino y cal, se añade diariamente de 0.1 a 0.2 lbs. de soda cáustica y quebracho en promedio y de 0.2 a 0.4 lbs. de cal hidratada por barril de lodo en el sistema.- También diariamente debe agregarse de 3 a 15 sacos de bentonita, según el contenido coloidal de las formaciones que se atraviesan.- En estos lodos, la contaminación con cemento es nula, debido a su alto contenido de iones de calcio, pero puede ser afectado por el agua salada si la concentración de iones de cloro sobrepasa 3000 p.p.n. para cuyo caso se debe aumentar el peso con barita hasta que se detenga el flujo de salmueras.

#### LODOS DE ALMIDON CON ALTO pH.

Estos lodos son usados preferentemente en pozos profundos donde las presiones de fondo y las temperaturas son altas o en formaciones de lutitas desmoronables.- Son inmunes a altas temperaturas, prolongadas operaciones de perforación, y a contaminaciones de sal o

**cemento .-** El alto pH sirve de protección contra la fermentación y debe siempre mantenerse superior a 12.

La técnica de preparación y mantenimiento de un lodo a base de almidón es la siguiente:

Se toma como base un lodo de tanato alcalino y cal con pH de 12 o ligeramente mayor, si esto no fuera posible, se añade al lodo base, soda cáustica, quebracho y cal en la proporción de 2:2:5 hasta lograr el pH deseado.- Una vez conseguido esto, se añade al lodo el almidón a razón de 25 lbs/min. hasta tener una concentración de 5 a 10 lbs. de almidón por barril de lodo.- El efecto se nota dentro de las 4 a 24 horas siguientes al tratamiento inicial, dependiendo del tipo de almidón y de la temperatura y alcalinidad del lodo.

El tratamiento diario consiste en añadir 0.2 lbs. de soda cáustica, 0.2 lbs. de quebracho, 0.5 lbs. de cal y 0.5 lbs. de almidón por barril de lodo en uso.- Este tratamiento produce un lodo con pérdida de agua entre 0.2 y 2 c.c. en 30 minutos y un pH aproximado de 12.5.

En perforaciones menos rigurosas se emplea el llamado "tratamiento suave de almidón", cuyo tratamiento diario se hace añadiendo 0.15 lbs. de soda cáustica, 0.1 lbs. de quebracho, 0.3 lbs. de cal y 0.2 lbs. de almidón por barril de lodo en el sistema.- Este tratamiento puede producir normalmente un lodo con pérdida de agua entre 2 y 3 c.c. en 30 min. y un pH aproximado de 12.

Un lodo de almidón tiene las siguientes características:

- a) Bajo Filtrado
- b) Fuerzas de Gel bajas o muy bajas
- c) Viscosidad moderada (40-60 Seg)

Normalmente a los lodos de almidón no se les añade bentonita,

ya que el control de la Viscosidad se hace variando la adición de agua al lodo, solamente se le agrega bentonita cuando la formación tiene bajo contenido de coloides.

Si el lodo de almidón tiene un aspecto esponjoso con altas fuerzas de Gel y aumentos de Viscosidad, es porque tiene insuficiencia de cal por lo que se añade  $\frac{1}{2}$  5 lbs. de cal por barril de lodo.- También la causa podría ser una insuficiencia de almidón en el sistema, lo que se soluciona aumentando la adición diaria de almidón en el lodo.

Un aumento en el contenido de sal provoca una baja considerable en la densidad del lodo, en cuyo caso se agregará barita.

#### LADOS DE CELULOSA METIL-CARBOXILA (C.M.C.)

La celulosa metil carboxilo es un material orgánico que al igual que el almidón forma un gel al esponjarse en agua.- Se usa como aditivo al lodo de perforación bajo el nombre de "Driscose" generalmente para bajar el filtrado.

Las principales ventajas del tratamiento con C-M-C- son:

- a) El uso de pequeñas cantidades de la celulosa
- b) La no fermentación del material a ningún rango de pH
- c) No se emplean agentes de tratamientos alcalinos.

En cambio su principal desventaja está en su alto precio ( $\frac{1}{4}$  veces el del almidón)

La preparación y mantenimiento del lodo C-H-C- se hace así. Se comienza con lodos de arcillas naturales, lodos tratados con fosfatos o con lodos de tenato alcalino.- Inicialmente se añade al lodo 1/4 lb. de "Driscose" por barril de lodo; también se agrega fosfatos complejos y quebracho a fin de controlar la Viscosidad y las fuerzas de Gel.

El tratamiento diario consiste en agregar de 0.07 a 0.1 lbs. de "Driscose" por barril de lodo, con la adición equivalente de fosfatos complejos o quebracho.- Para pozos mas profundos se puede agregar hasta 0.15 lbs.

### LODOS DE EMULSION

Una emulsión se define como una solución de finas gotitas de un líquido dentro de otro líquido con el cual es no misible.- La emulsión está compuesta de 2 fases: La fase dispersa (líquido suspendido) y la fase continua.

Para asegurar la estabilidad de la emulsión se usa una película protectora no adhesiva alrededor de las gotitas dispersas a fin de prevenir el contacto entre las partículas dispersas.- La experiencia ha demostrado que los agentes que forman la película protectora son generalmente sustancias solubles en el líquido de la fase externa y relativamente insolubles en el líquido que forman las gotitas dispersas.

El tipo de emulsión formada depende primeramente del emulsificante.- Si la fase continua es el agua, la emulsión será del tipo de petróleo en agua y si por el contrario la fase dispersa es el agua, la emulsión será del tipo de Agua en Petróleo.

Cuando en una emulsión el petróleo constituye la fase continua el lodo de emulsión tendrá propiedades parecidas a las del lodo a base de petróleo.- En cambio, si es el agua la que forma la fase continua, el lodo de emulsión tendrá propiedades comunes con el lodo a base de arcillas naturales.

Las principales ventajas de un lodo de perforación emulsionado son, la mayor rapidéz de la perforación, la prolongada duración de la broca y mejores condiciones del hueco.- Concluyentemente se ha

mostrado la mayor longevidad de la broca, mayormente a causa de la mejor lubricación de sus cojinetis y la consecuente preservación de tales piezas.- Al parecer el paso de avance de la broca que trabaja con lodos de emulsión, comparado con el que se logra con lodos normales de agua y arcilla varía de una a otra región.- En general sin embargo, hay razón para creer que la velocidad de la perforación con emulsiones es considerablemente mayor, quizás a causa de una combinación de mas larga duración de la broca y por consiguiente menos entradas y salidas de las herramientas, con las mejoradas condiciones del hueco.- Menos torsión de la cañería de perforar se nota cuando se perfora con lodo de emulsión y por consiguiente, menor consumo de fuerza motriz para la mesa rotativa y menos desgaste de la cañería.- También con lodos de emulsión los registros eléctricos pueden tornarse en forma satisfactoria ya que los fluidos son conductores eléctricos.- Otra característica principal de los lodos de emulsión es su muy bajo filtrado.-

Para la preparación de un lodo de emulsión usualmente es necesario determinar por pruebas de laboratorio, el tipo de petróleo crudo a usarse.- En general, petróleos de baja gravedad y mas particularmente aquéllos que tienen altos puntos de inflamación deben preferirse.- Caso de no obtenerse un crudo apropiado, puede resultar satisfactoria una mezcla de asfalta de carretera y aceite diésel.

#### LODOS DE SILICATO DE SODIO

Estos lodos deben usarse solamente en formaciones de "arcillas desmoronables" que no han podido ser perforadas con lodos de almidón a base de agua u otros tipos de lodos.

Este lodo no tiene éxito cuando se lo usa en aquéllas formaciones donde el desmoronamiento ha comenzado y por lo tanto debe

usárselo cuando se encuentre en un punto seguro encima de la zona desmoronable.

Antes de cambiar a lodo de silicato se deben instalar tanques de lodo o forrar con concreto las fosas de lodo y canalizarlas para que el agua pueda salir a la superficie.- Estos tanques o fosas deben estar cubiertos a fin de prevenir la contaminación excesiva con agua de lluvia.

El tipo apropiado de silicato que se usa para el lodo es un polvo comercial seco llamado "Noheev" que tiene una relación de sílice a óxido de sodio de 2:1.- Es soluble en el agua, aunque puede tomar de 12 a 16 horas de agitación para que la solución se complete totalmente.- Para preparar 100 Bbls. de lodo de silicato, se necesita:

"Noheev"	15,800 lbs.
Agua	80 bbls.
Bentonita	1,500 lbs.
Sal	3,800 lbs.

El procedimiento para preparar el lodo de silicato es el siguiente:

La cantidad de agua requerida se coloca en los depósitos de lodo y se añade el "Noheev" a través del embudo; el conjunto se agita con chorros de lodo a presión, luego se agrega la bentonita y por último la sal, para después circular y agitar el lodo por 10 horas aproximadamente.

Debe tenerse a la mano mas ó menos 4,000 lbs. de "Noheev" por cada 100' de hueco de 8-5/8" que se perforen con lodo de silicato.

El mantenimiento de un lodo de silicato requiere gran atención técnica para botener resultados exitosos.- El lodo debe diluirse sistemáticamente a fin de no permitir un aumento en su viscosidad.-



Cada vez que el lodo se diluye con agua, debe añadirse suficiente "Noheev" y sal para mantener la relación apropiada de silicato y sal en el filtrado.- La concentración de óxido de sodio deberá mantenerse entre 9.5 y 10% del peso del filtrado y el contenido de sal debe ser mantenido entre 7.5 y 8% del peso del filtrado.- El lodo de silicato es muy afectado por las contaminaciones de cemento.- También este lodo es completamente alcalino y en consecuencia muy irritante a la piel, siendo muy peligroso para la vista.

#### LODOS A BASE DE PETROLEO

Estos lodos generalmente son empleados para aumentar las posibilidades productivas de las arenas.- Los principales beneficios que se derivan de los lodos a base de petróleo son los siguientes; previenen los bloqueos por agua en las arenas, aumentando la productividad inicial; disminuyen o eliminan el tiempo de marcado para poner los pozos en producción.- Estos lodos tienen una gran aplicación en los trabajos de reacondicionamientos de pozos de baja presión o en arenas parcialmente agotadas las que tienden a ser bloqueadas por agua con el empleo de otros lodos convencionales. El tipo comercial de lodo a base de petróleo se llama "Black Magic".

Los constituyentes del lodo tipo "Black Magic" son: asfalto ~~sterilizado~~; caliza pulverizada, óxido de calcio y aceite diesel.- Hay tres tipos de "Black Magic".

a) Black Magic Liviano para lodos de 8-9.5 #/gal.

b) Black Magic Mediano para lodos de 9.6-10.6 #/gal.

c) Black Magic Pesado para lodos mayores de 10.6 #/gal.

A continuación indicaré el modo de proceder para preparar 100 Bbls. de "Black Magic":

DENSIDAD (#/GAL.)	TIPO DE BLACK MAGIC A USARSE.	Nº DE SACOS A USARSE.-	ACEITE DIESEL (Bbls.)	AGUA (Bbls.)
8.02	B.M. liviano	100	81	2
9.63	B.M. mediano	200	70	1
10.7	B.M. pesado	240	70	2

El aceite para la mezcla debe reunir las siguientes propiedades:

PROPIEDAD	RANGO	VALOR DESEABLE
Gravedad API	30° - 40°	-----
Punto de Anilina	90 - 150	135
Número Acido	0.3 - 1.0	0.5
Punto de Inflamación (°F)	150° - 200°	160°

Para la preparación del lodo, tipo "Black Magic" se añade al tanque de lodo las cantidades requeridas de aceite diesel y agua y se calienta mediante el serpentín de Vapor hasta  $\pm$  150°F, luego se añade al tanque los sacos de polvo "Black Magic".- Mientras se añade el "Black Magic" y durante la hora siguiente, el lodo se debe agitar vigorosamente con chorros a presión.- Su densidad se aumenta con barita.

Un lodo "Black Magic" no debe sedimentarse y debe tener las siguientes propiedades:

Densidad	8-15 #/gal.
Viscosidad (Embudo)	60-250 seg.
Filtrado, 6 horas, 100 psi.	0.0 c.c.
Contenido de agua	1-8%

Los lodos a base de petróleo debido a su alto costo, debe ser empleado por un tiempo mínimo mientras se obtienen los máximos beneficios

El tipo de lodo "Black Magic" liviano, debe usarse en operaciones de reparación o reacondicionamiento de pozos en arenas productoras de baja presión o parcialmente agotadas.

## CAPITULO VI

ELECCION DEL TIPO DE LODO Y AGUA

USADO EN LA PERFORACION.

MEDIDAS DE EMERGENCIA.

CONTROL DE REVENTONES Y PERDIDAS

DE CIRCULACION.

### ELECCION DEL TIPO DE LODO

Desde el advenimiento de la perforación rotativa, la calidad de los fluidos de perforar ha sido uno de los factores mas influyentes en la limitación de las profundidades hasta ahora alcanzadas.- Esta limitación y la continua demanda de pozos mas profundos, ha sido un fuerte incentivo en el desarrollo de nuevos y mejores lodos.

El tipo de lodo a usarse, debe estar de acuerdo con la profundidad y carácter de la formación.- A continuación indicaré algunas recomendaciones en el empleo del lodo.

Cuando se perforan pozos profundos o formaciones que tienden a derrumbarse o formar cavidades cuando se emplean fluidos ordinarios de perforación, se deben usar lodos con baja filtración.

Ya que los gastos en un pozo aumentan en proporción aproximada al cuadrado de la profundidad, se considera buena práctica usar progresivamente mejores lodos con menores pérdidas de agua, cada vez que se aumenta la profundidad.- Para prácticas en perforaciones normales, los siguientes tipos de lodos han resultado satisfactorios a las profundidades indicadas:

<u>TIPO DE LODO DE PERFORACION</u>	<u>RANGO DE PERDIDA DE AGUA (c.c.) en 30min.</u>	<u>RANGO DE PROFUNDIDAD RECOMENDADA.</u>
Agua	-----	0- 3000'
Barro de arcillas, no tratado	30 - 15	0- 4000'
Barro de fosfatos complejos	12 - 16	3000' - 7500'
Barro de Tanato alcalino	10 - 5	3,000' - 9,000'
Barro de Tanato alcalino y cal Tratado	8 - 4	5,000' - 11,000'
con celulosa metil-carboxilo	4 - 2	6,000' - 11,000'
Barro de emulsión	4 - 2	7,000' - 12,000'
Barro con poca cantidad de almidón	3 - 1.5	7,000' - 12,000'
Barro con grna cantidad de almidón	2 - 0.5	8,000' - 15,000'

Esta tabla indica los rangos de profundidades para los cuales los varios tipos de lodos han resultado satisfactorios en condiciones normales de perforación; sin embargo, es preferible usar lodos excesivamente tratados a profundidades menores que las indicadas si se encuentran condiciones anormales que dificulten la perforación.

Cuando la formación sea de lutitas desmoronables o que sus condiciones sean tales que ni aún con el empleo de lodos de almidón con baja filtración de agua puedan ser controladas, lo recomendado es usar lodos a base de silicatos.- El inconveniente en el uso de este lodo radica en que las perforaciones se desarrollan con considerable lentitud y resultan mucho más caras que las otras perforaciones convencionales, es por esto, que los lodos de silicatos debe usarse como último recurso después de haber agotado todos los medios posibles.

Los lodos a base de petróleo se usan en la actualidad como fluidos de perforación cuando se sospecha que lodos a base de agua son capaces de dañar las formaciones productivas,-

#### ELECCION DEL TIPO DE AGUA PARA EL LODO.

El tipo de agua que se usa en un fluido de perforación es de vital importancia.- Las sales disueltas en el lodo (tales como Calcio, Magnesio, Cloruros, etc.) tienden a disminuir las buenas propiedades del fluido.- Para evaluar el contenido de sales del agua, el Ingeniero de lodo verá mediante pruebas, el grado de concentración de ellas, que las reportará expresadas en partes por millón (p.p.m.), esto es, el número de partes de cada sal halladas en un millón de partes de agua analizada.- Una vez hecho el análisis químico, el ingeniero clasifica en: muy bueno, buenas, regulares, malas o muy malas.

El agua se puede analizar de la siguiente manera:

**CRUDEZA DEL AGUA** .- La crudeza del agua proviene de la disolución en ella de las sales de Ca. y Mg.- Uno de los medios mas comunes para averiguar el grado de dureza del agua es el que consiste en observar la mayor o menor dificultad que ofrece a la formación de espuma con el jabón.- La importancia de la determinación del grado de crudeza del agua, radica en la decisiva influencia que tal características ejerce sobre el control de la gelatinosidad del fluido de perforación.-

La determinación de la crudeza del agua en p.p.m. puede hacerse de modo satisfactorio, por medio de la siguiente prueba:

a) Escójase una botella pequeña y viértase en ella 100 c.c. del agua que se va a someter a la prueba.

b) Agréguese al agua 1 c.c. de una solución "standard" de jabón y agítase bien el contenido de la botella. Nótese si comienza a formarse espuma, en caso contrario, agréguesele otro c.c. de la solución.

c) Al advertir que se ha formado la espuma, disminúyase a 0.10 c.c. la cantidad adicional de la solución y procédase a formar por agitación una espuma que dure de 5 a 7 minutos.

d) Anótese el número de c.c. de la solución agregada.- El producto de ese número por 20, será el grado de crudeza del agua expresado en p.p.m.

Si la prueba revela que el agua es cruda en extremo, obténgase otra muestra del agua, mas pequeña que la primera (5 a 15 c.c.). Dilúyase ésta en agua destilada, repítase la prueba y calcúlese la crudeza del modo siguiente:

$$\frac{\text{c.c. de jabón agregado} \times 1000}{\text{c.c. del agua sometida a prueba}} = \text{crudeza en p.p.m.}$$

### CONTROL DE REVENTONES

Los reventones constituyen los peligros mas serios encontrados en la perforación rotativa.- Pese a que en la actualidad el peligro de reventón se ha reducido grandemente con métodos modernos de control del lodo y el uso de equipos adecuados para el control de presiones en las cabezas de los pozos todavía es materia de seria preocupación sobre todo en los "wildcats" o en perforaciones en áreas de presiones anormales.

La mayoría de los reventones resultan de permitir anchas fluctuaciones en el peso del lodo, o de no mantener lleno el hueco durante los fiajes de la tubería, o de usar lodos con excesivas fuerzas de gel, las cuales producen una excitación peligrosa del pozo cuando se está sacando la cañería de perforar.

Caso de que un pozo intente reventar se debe cerrar en el acto el impide reventones y el lodo que regresa a las fosas se debe hacer fluir a través de una línea de estranguladores a fin de conseguir una contrapresión adecuada, entre tanto se aumenta el peso del lodo en circulación.

Si el lodo llega a ser coagulado por gas sin que su volumen aumente considerablemente, la contrapresión adecuada puede variar de 100 a 200 psí.

Si el reventón ha progresado hasta el punto donde el pozo comienza a descargarse y el nivel de la fosa del lodo ha subido una pequeña cantidad, la contrapresión adecuada será  $\pm$  200 psí. mas una presión adicional de 100 psí. por cada pulgada de aumento en el nivel del lodo en las fosas.- Cuando el pozo está bajo control y el nivel de las fosas llega a su valor normal la contrapresión deberá reducirse 7 psí. por cada pulgada de descenso en el nivel de las fosas.- Esto

se consigue disminuyendo la velocidad de las bombas o cambiando a un mayor tamaño el estrangulador.

Si el nivel de las fosas del lodo ha subido un pié o mas, se requerirá una alta contrapresión ( $\pm$  1000 psi.) para ésto se usa un estrangulador pequeño, siendo el único inconveniente el peligro de pérdida de circulación.

#### PERDIDA DE CIRCULACION

Este problema por lo general se presente cuando se atraviesan formaciones cavernosas o fracturadas.- También se presenta cuando la presión total ejercida por la columna de lodo es suficiente para causar ruptura hidráulica de la formación.- El segundo tipo está asociado al primero en mayor o menor escala, ya que la ruptura hidráulica probablemente ocurre en zonas sometidas a esfuerzos donde fracturas incipientes ya han tomado lugar.-

Si durante la perforación se encuentran zonas cavernosas o fracturadas, la circulación por lo general se pierde inmediatamente debido a que la columna de lodo normalmente ejercerá una presión mayor que aquélla de los fluidos que ocupan los vacíos de la formación. En este tipo de pérdida de circulación no es práctico reducir el peso del lodo; sin embargo, a menudo es útil el uso de materiales de abultamiento en el lodo, particularmente donde las fisuras no sean tan grandes.- Algunos de estos materiales mas comunmente usados son: celofan desmenuzado, fibras de pino, fibras de caña de azúcar, corteza de las semillas de algodón, plumas de ave, viruta y aserrín.- Los dos últimos materiales nombrados no son probablemente tan efectivos como los demás; sin embargo se usan algunas veces cuando los otros no son accesibles.- Las cantidades exactas de materiales de abultamiento que deben añadirse al lodo variarán con la severidad de la pérdida de



circulación y con el material usado; no obstante, la concentración generalmente caerá en el rango de 3 a 6 lbs. por bbl. de lodo, excepto en el caso de celefán desmenuzado donde se usan cantidades menores.- La zaranda vibratoria deberá tener una válvula de desvío para emplearse cuando circule lodo cargado de materiales de abultamiento.- Si la formación fisurada o cavernosa no puede sellarse con los materiales citados, se debe recurrir a la cementación.- Si aún con la cementación no se pudiera controlar la pérdida de circulación, será necesario asentar una tubería de revestimiento intermedia a través de la zona fisurada, antes de continuar la perforación.

En el segundo tipo, donde ocurre pérdida de circulación por ruptura hidráulica de los estratos, la ruptura actual es causada por una presión hidrostática que excede a la presión de sobrecarga en el punto de ruptura.- En muchos casos la presión hidráulica necesaria para causar ruptura es considerablemente menor que aquella esperada de las consideraciones sobre densidad y profundidad de los estratos.- Cálculos basados en los promedios de densidades de rocas y profundidades, usualmente indican que la presión de sobrecarga es ligeramente menor de 1  $\#/\text{in}^2/\text{ft}$ , lo cual se aproxima a la gradiente de presión de un lodo de 18  $\#/\text{gal}$ .- No obstante, rupturas hidráulicas han sido identificadas definitivamente con pesos de lodos tan bajos como 12  $\#/\text{gal}$ .

La técnica mas común empleada para vencer este tipo de pérdida de circulación consiste en reducir el peso del lodo o la rata de circulación con le objeto de descargar la presión hidráulica que causa la ruptura de las rocas.- Cuando la pérdida de circulación ocurre por primera vez, es buena práctica quitar 2 ó 3 barras de la cañería de perforar y restablecer la circulación con las bombas delodo moviéndose a una velocidad media.- Si toda la circulación se recupera con

esta medida, la situación no es tan seria y es probable que la perforación pueda continuar bajando el peso del lodo en 0.1 ó 0.2 #/gal. y reduciendo la fuerza de gel a un mínimo por tratamiento químico.- Si la presencia de arenas de alta presión no permiten reducir el peso del lodo, es posible reanudar limitadas operaciones llevando a un valor mínimo la fuerza de gel y usando presiones de bombas algo mas bajas que las normales.- Un acontecimiento afortunado en este tipo de pérdida de circulación lo constituye la auto-curación, ya que la pérdida puede persistir por algún tiempo a despecho de todas las medidas de control y sellarse élla misma.- Por esta razón, es una buena idea sacar la cacería y dejarla fuera del pozo por 12 ó 16 horas; ir entonces lentamente rompiendo la circulación y acondicionando el lodo cada 1,000 pies aproximadamente antes de reanudar la perforación.- Este procedimiento a menudo ayudará a recuperar la circulación donde han fallado continuas medidas de control.- Los materiales de abultamiento no son mayormente satisfactorios en estos tipos de pérdida de circulación.

## CAPITULO VII

### PROBLEMAS DE CONTAMINACION DEL LODO.

### INFLUENCIA DE LOS AGENTES QUIMICOS EN EL FLUIDO DE PERFORACION.

### CONTAMINACION CON CEMENTO

Es un problema que se conoce de antemano, ya que generalmente tiene lugar en la perforación del cemento en aquéllas zonas de la formación que han sido cementadas.- El grado de contaminación dependerá del grado de fraguado del cemento, es decir, cuanto mas fraguado esté el cemento, habrá menos contaminación, ya que de este modo estamos eliminando gran parte del cemento como rípio o recorte de la perforación.

Es el hidróxido de calcio que produce el cemento al fraguar el que modifica las propiedades del lodo de perforación.- Mas o menos un 20% de hidróxido de calcio es lo que genera el cemento común fraguado.- Los efectos por contaminación de cemento en el lodo de perforación son:

Filtrado muy alto

Velocidad de gel alta

Viscosidad alta

Además debido a que aumenta la resistencia de gel por el alto pH, el lodo de perforación emulsiona gases, es decir, no deja escapar los gases que pudieran estar penetrando en él, provocando una baja considerable en su densidad y por ende, un peligro de reventon (Blow out).

Cuando se presente un caso de contaminación con cemento, el lodo de perforación debe tratarse tendiendo a lo siguiente:

a) Eliminar el calcio como sal insoluble

b) Disminuir el pH

c) Desflocular la arcilla lo mas que se pueda

d) Restituir el material coloidal que no pudo ser desfloculado.

n El filtrado muy alto trae como consecuencias los derrumbes y puentes en el hueco con el consiguiente peligro de atollamiento de la cañería de perforar.

La Velocidad de gel alta produce malas condiciones del hueco (su estrechez).

La alta Viscosidad imposibilita o dificulta el viaje de los recortes de la perforación desde el fondo del hueco hasta la superficie, ya que disminuye la Velocidad de Circulación.

Para eliminar el calcio como sal insoluble se emplea bicarbonato de sodio mas ó menos en la proporción de 1:10 en peso, con relación al cemento que se va a perforar; es decir, se usará de bicarbonato de sodio la décima parte del peso del cemento a perforar.

Para disminuir el pH y desflocular la arcilla se emplea una solución de extracto de quebracho.

Para la restitución de los coloides, se emplea una suspensión de bentonita.

El tratamiento puede hacerse antes o después de perforado el cemento, aunque es preferible hacerlo antes, ya que de este modo no habrá necesidad de reponer coloides, puesto que se evitará la floculación, es decir, la transformación de sodio arcilla en calcio arcilla.

También para la contaminación del lodo con cemento, se emplea una mezcla de ortofosfato monosódico y un fosfato complejo.- El primero, elimina el calcio como sal insoluble, a la vez que reduce el pH según las reacciones siguientes:



Como se verá, en la primera ecuación se precipita el calcio, pero aumenta el pH.- Ya en la segunda ecuación, disminuye el pH así como también la Viscosidad y Velocidad de gel, aunque en estas dos últimas propiedades la disminución es excesiva, el filtrado que está alto, baja muy poco.- Por último para normalizar la Viscosidad, la Velocidad de gel y el Filtrado, se agrega bentonita.

EFECTO DE LOS ADITIVOS EN UN LODO CONTAMINADO CON CEMENTO

	pH	Viscos. (cps)	Veloc. Inic. (min.)	Veloc. Gel (min.)	Filtrado (c.c.)	p.p.n. de calcio en filtrado.
Lodo Contaminado-No tratado	11.2	Muy espeso	Muy espeso	---	---	V
Lodo Contaminado-33% Tratamiento con "SAPP"	11.0	73.3	98	130	---	---
Lodo Contaminado-66% " " "	10.2	21.3	0	9	---	---
Lodo Contaminado-100% " " "	9.8	20.5	0	4	17.5	60
Lodo Contaminado-33% " " "Quadracho"	11.1	18.3	0	16	---	---
Lodo Contaminado-66% " " "	10.4	12.5	0	3	---	---
Lodo Contaminado-100% " " "	9.7	8.8	1	1	18.5	104
Lodo Contaminado-33% " " "Bicarbonato"	11.2	106.5	73	156	---	---
Lodo Contaminado-66% " " "	10.7	33.5	1	5	---	---
Lodo Contaminado-100% " " "	9.9	14.0	0	1	15.0	20
Lodo no Contaminado - No tratado	8.2	10.0	0	15	14.0	---
Lodo no Contaminado-33% Tratamiento con Bicarbonato	8.2	18.5	12	22	---	---
Lodo no Contaminado " " "	8.5	19.6	11	26	---	---
Lodo no Contaminado-100% " " "	8.7	23.0	20	28	14.0	20

(100% Tratamiento equivale a 2 gramos de aditivo)

CONTAMINACION CON SAL

La contaminación con sal (ClNa) es altamente perjudicial para los lodos a base de agua y arcilla.- Inmediatamente que suceda aquéllo se notará que la Viscosidad del lodo aumenta considerablemente; si el contenido de sal en la fase líquida del lodo en porcentaje es mayor de

1 (uno), el filtrado también aumentará rápidamente.

Desde que el agua a temperatura normal tiene una solubilidad para la sal de  $\frac{1}{2}$  30% de su peso propio, esta cantidad se disolverá en el lodo cuando se perforen grandes estratos salinos.

Si el porcentaje de sal no excede de uno, es práctica corriente continuar la perforación con el lodo a base de agua y arcilla.- En cambio, si este porcentaje es mayor de uno, el filtrado y el espesor de la costra se excederán del valor deseado, siendo necesario el uso de almidón o gomas, a fin de restaurar su valor adecuado e impedir que se produzca algún derrumbe o atollamiento de la cañería de perforar.- No debe emplearse bentonita ya que ésta se flocula por efecto del agua salada; en su lugar debe usarse arcillas especiales para agua salada o en su defecto, grandes cantidades de arcilla de baja gravedad específica.

Si se emplea almidón y la contaminación es menos de 20%, el lodo debe operar con un pH mayor de 11.5 a fin de prevenir la fermentación de almidón, o de lo contrario, agragar sal adicional.

Si el lodo debe trabajar con un alto pH (mayor de 11.5) es conveniente agregarle hidróxidos alcalino-térreos, tales como hidróxido de calcio, a fin de prevenir la hidratación de arcillas o lutitas que deban perforarse.

Los lodos a base de silicato de sodio son los que normalmente se emplean en aquellas formaciones donde existe flujo de agua salada y que tienen alta presión.

Para la perforación de formaciones saliníferas se pueden usar lodos a base de petróleo, aunque para tal efecto es preferible el uso de lodos a base de almidón que económicamente son mas convenientes y se adaptan en mejor forma a este tipo de perforación.

La mayor contaminación de un lodo de perforación, ocurre cuando se atraviesan estratos y domos de sal, en los que grandes espesores de varios cientos de pies pueden ser penetrados, saturándose de sal rápidamente el fluido de perforación.- Por eso, antes de comenzar la perforación de una zona salinífera, se debe proceder al cambio del lodo de base de agua y arcilla y usar como reemplazo una solución saturada de sal.

Si la tubería de revestimiento es colocada en el tope del estrato salinífero, o si no existen secciones de lutitas encima de la zona de sal, se puede perforar el estrato de sal con agua saturada con sal y sin aditivos para bajar el filtrado.- En cambio si grandes estratos lutíticos o formaciones porosas no revestidas existen encima de la zona salinífera, se deben usar aditivos para reducir el filtrado a un valor bajo.

#### CONTAMINACION CON YESO O ANHIDRITA

La contaminación con yeso o anhídrita resulta de la perforación de estratos que contienen estos compuestos, pudiendo variar el espesor de dichos estratos desde varias pulgadas hasta unos 800 pies.- La anhídrita es el sulfato de calcio anhidro y el yeso es el sulfato de calcio con dos moléculas de agua.- En la perforación es mas común encontrar anhídritas que yesos.

La anhídrita se presenta en formaciones marinas como resultado de la cristalización de soluciones ricas en sulfato de calcio y la mejor manera para constatar su presencia es por correlación con otras formaciones similares que hayan sido perforadas por el lugar.- Los estratos de cal y Anhídrita por lo general se encuentran entremezclados.- A veces la Anhídrita se presenta como delgadas fajas a lo largo de todo el espesor de los estratos de cal, no permitiendo la determinación exacta del espesor de anhídrita presente en el estrato.-



En este caso se puede perforar con lodo a base de agua y arcilla pero usando algunos aditivos tales como soda Ash.- En cambio otras veces la cantidad de anhídrita en el estrato de cal es suficiente para contaminar el lodo por semanas y aun por meses.- En este caso se debe usar para la perforación, un lodo cálcico.

La contaminación con anhídrita se debe a los iones de calcio y sulfato del compuesto.- Esta contaminación es similar a la contaminación con cemento en que ambos materiales producen iones de calcio y flocculan las bentonitas sódica convirtiéndolas en bentonitas cálcicas mediante reacciones de cambio de base.- Esta flocculación de la bentonita resulta en un aumento del filtrado del lodo.- La Anhídrita y el cemento difieren en que la primera proporciona el radical sulfato junto con el calcio.- Este radical sulfato no afecta el pH de la solución, sin embargo, el pH del lodo puede disminuir ligeramente mientras los iones de hidrógeno de la bentonita sean reemplazados por el calcio.- En cambio el cemento sí aumenta el pH del fluido ya que habilita el radical hidroxilo.

La contaminación de un lodo de perforación con Anhídrita se manifiesta al comienzo, en un marcado aumento de la fuerza de gel, seguido por un gradual aumento del filtrado, mientras la bentonita sódica sea convertida en bentonita cálcica.- El resultado final es un lodo de alto filtrado, baja Viscosidad y baja fuerza de gel.

El tipo de lodo usado para la perforación de formaciones de anhídrita, depende de la cantidad y frecuencia de la contaminación.- Los lodos a base de agua y arcilla pueden ser usados siempre que se los conserve en buenas condiciones, no obstante que el costo puede ser excesivo si la sección es de gran espesor o que si se encuentra en forma de fajas (Stringers) y éstas estén presentes constantemente a lo largo

de un periodo de tiempo considerable.- Estos lodos a base de arcilla son tratados con soda Ash o con carbonato de bario a fin de precipitar el calcio.- También se usan otros tipos de lodos con los cuales el calcio no precipita sino que es mantenido en solución.- Entre estos tipos tenemos: los lodos de almidón de alto pH, los lodos a base de silicato y los lodos a base de petróleo.- También se puede usar lodos de agua salada y almidón, pero en éstos el pH debe mantenerse bastante alto.

### CONTAMINACION CON GAS

Esta es una de las contaminaciones de mayor peligro para el fluido de perforación y la que debe merecernos el mayor cuidado y la mayor preocupación.- Su indebido control puede acarrear consecuencias funestas como es el reventón (blow out) con la consiguiente pérdida de material, equipo y personal.- La contaminación de un lodo con gas ocurre cuando se perforan zonas gasíferas con fluidos que no hacen la debida contrapresión, es decir, con fluidos de densidad insuficiente (muy livianos).- También se produce esta contaminación, durante la acción de swabeo del pozo, mediante la que se produce el ingreso del gas al hueco del pozo.- Si la Viscosidad y fuerza de Gel del lodo son bajas, el gas se librará del lodo al llegar a la superficie y el fluido recuperará su peso normal.- En cambio, si la Viscosidad y fuerza de Gel del lodo son altas, el gas no podrá escaparse del lodo aún en la superficie, por lo que el fluido será recirculado con un peso mas bajo que el deseado.- No es necesario cambiar el tipo de lodo cuando el fluido está cortado por gas, un adecuado tratamiento del lodo es en la mayor parte de las veces suficiente para que recupere sus condiciones y propiedades adecuadas.- Para desgasificar un lodo cortado por gas, se debe proceder de la siguiente manera:

- a) Agregar densificantes al lodo
- b) Reducir la Viscosidad y fuerza de gel
- c) Usar medios mecánicos para desgasificar el lodo.

A continuación indicaré uno de los medios mecánicos que se emplean en la Perforación, para separar el gas del fluido sin parar la circulación.

El diseño consiste de un comprimido equipo acondicionador que forma parte del tanque del colador del lodo.

Debajo de la malla del colador hay un recipiente de poco fondo (pando) con aberturas a cada extremo.- Las de un extremo encauzan la corriente de lodo al depósito de succión de las bombas y las del otro extremo envían el lodo al equipo removedor de gas.- En operación normal, cuando el lodo está libre de burbujas de gas, se tiene abierta una compuerta para que el lodo fluya al depósito de aspiración.- Las compuertas son a manera de vertederos engoznados que ascienden y pasan de la posición vertical a la horizontal, cuando están abiertas del todo.- Son impulsados por una rueda de mano soldada al tanque removedor del gas.

Si el lodo que procede del pozo presente burbujeo indicativo de gas de la formación, la compuerta para flujo normal al extremo de succión del depósito del colador se cierra, para luego abrir la del extremo de remoción del gas.- El lodo ya colocado se derrama por sobre el vertedero abierto, al extremo de remoción del gas, y pasa a un recipiente de poco fondo, con que se conecta el conducto de succión de la bomba.

La circulación se realiza con una bomba centrífuga impulsada por un motor eléctrico y montada fuera, la cual descarga por un tubo horizontalmente instalado a través del extremo de remoci

gas del depósito.

El tubo tiene su extremo libre taponado y ranurado a manera de un tubo revestidor perforado.- Con este arreglo se divide la corriente de lodo con un flujo delgado gracias al cual se escapa el gas de arrastre.

El fluido de perforación se puede mantener en continua circulación mientras avanza la broca en el fondo del hueco, por lo que el gas se puede remover sin tener que apartar el lodo y reemplazarlo por lodo fresco.

## QUIMICAS USADAS EN EL LODO DE PERFORACION

### TETRAPOSFATO DE SODIO.- ( Quadrafos)

Es el defloculante más poderoso y el más efectivo para reducir la viscosidad y una excesiva fuerza de gel.- Impide la contaminación con cemento.- Es ligeramente alcalino (7.7) en una solución de 20 # lbb1.

Soluciones calientes de este material no disminuyen su efectividad en el lodo.- Controla la fuerza y velocidad de gel que ordinariamente crece con la dispersión y el calor durante el curso de la perforación y tiene la tendencia de ayudar a los taninos a reducir la pérdida de agua, 20 libras por 50 galones de agua son mezclados con agitación y aplicados al lodo a razón de 1 a 4.- Su peso molecular es 470.

### COMPUESTOS DE TANINO.-

El ácido tánico en forma de quebracho es defloculante, controla la pérdida de agua y el espesor del enlucido.- Es resistente a la destrucción por el calor.- El pH del extracto de tanino puro varía de 3 a 5, se usa con soda cáustica en varias concentraciones formando las llamadas químicas 1:1, 1:2, 1:5.- El quebracho también disminuye la viscosidad y contrarresta la acción del cemento.

### SODA CAUSTICA.- ( Na OH)

Es un fuerte álcali usado para controlar la alcalinidad del lodo y mezclado con el quebracho forma el tanato de sodio que sirve para mejorar la costra ( "mad cake") y la pérdida de agua.- También aumenta la viscosidad y el pH.- Su peso molecular es 40 y su gravedad específica 2.13.

### CARBONATO DE SODIO.- ( Soda Ash)

Controla la alcalinidad para manéncencia de 7.5 a 9.5.- Generalmente aumenta la pérdida de agua por lo cual debe usarse con mucha vigilancia.

### BICARBONATO DE SODIO.- ( de pH : 8 a 9)

usa cuando se perforan tascos de cemento, es decir, después de las ce-

mentaciones .- El calcio disuelto del cemento hace floccular el lodo, aumentando su viscosidad y filtrado.- El bicarbonato de sodio remueve el calcio y el carbonato de calcio insoluble.- Generalmente se usa 2 lbs. de Bicarbonato por 50 galones de agua.- Es un polvo blanco y se expende envasado en sacos de 100  $\#$ .

DESFLOCULANTES Y AGENTES DISPERSOS.

ORTHOFOSFATO DE SODIO.-

Es un agente flocculante que tiende a coagular las partículas de arcilla en suspensión.

PIROFOSFATOS, METAFOSFATOS Y TETRAFOSFATOS.-

Son desfloculantes que tienden a dispersar las suspensiones coloidales de arcilla.

CAL HIDRATADA.- Ca. ( OH) 2

Se usa para incrementar grandemente la viscosidad.- También se usa cuando la presión hidrostática del fluido es insuficiente para formar el enlucido apropiado para la pared del pozo.- Es un polvo seco blanco y su gravedad específica es 2.078.- Se le envasa en sacos de 50  $\#$ .

CARBONATO DE CALCIO.- ( CO<sub>3</sub> Ca)

El Carbonato de calcio se usa principalmente como material densificante en los lodos a base de petróleo.- Sus características son las siguientes:

Gravedad específica:	2.70
Color	Blanco
<u>Análisis químico</u>	
% mínimo de CO <sub>3</sub> Ca	97.5
<u>Análisis de Malla</u>	
% mínimo a través de malla 325	95.0
% mínimo a través de malla 200	99.0

SULFATO DE ESTRONCIO (CELESTITA)

Se usa no con mucha frecuencia para aumentar la densidad del lodo.- Sus

características son las siguientes:

Gravedad específica

3.75

Análisis Químico

Porcentaje

SO <sub>4</sub> Sa	89.50
SO <sub>4</sub> Ba	5.40
SO <sub>4</sub> Ca	0.50
SO <sub>4</sub> Mg	0.46
SO <sub>4</sub> K <sub>2</sub>	0.36
SO <sub>4</sub> Na	0.30
Si O <sub>2</sub>	1.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01
Agua	0.012
pH	8.00

Análisis de Malla

% mínimo a través de malla 200	95.0
% mínimo a través de malla 325	93.0

ALMIDÓN.-

El almidón se emplea para preparar la gelatina con la cual se mejora la filtración de las inyecciones flocculadas o de base de arcillas no coloidales.- Hasta el presente se ha empleado únicamente almidón de trigo y maíz sin haberse presentado mayores inconvenientes con ellos.

PRECIOS DE LOS MATERIALES PARA EL LODO DE PERFORACION.-

Barita	\$ 1.12 / saco (100#)
Bentonita	0.43 " "
Cal	0.72 / saco (80#)
Mangle	3.02 " (100#)
Soda Cáustica	0.059 / lb.
Driscose	44.50 / Saco (50#)
CO <sub>2</sub> H NA	0.0087 / lb.
Almidón	0.20 / lb.
1 T Q 1:2	11.87
1 T Q 1:1	7.45
1 T Q 1:3	4.50
Lodo a base de Petróleo	4.71 / Bbl.



## B I B L I O G R A F I A

**Petroleum Engineering**

**Petroleum Technology**

**Petroleo Interamericano**

**Oil and Gas Journal**

**World Oil**

**Petroleum Drilling Hand book**

**Illinois Geological Survey**

**Journal of Physical Chemistry**

**Manual de Lodo de Perforación (I.P.C°)**

**Composición y propiedades del fluido de Perforación (W. Rogers)**

**Drilling Mud (Baroid)**

**Oil Weekly**

**Drilling and Production Practice (A.P.I.)**

**Lodo de Perforación (Tailleur y Calvo)**

**Emulsion Drilling Fluids (D.L. Wilson)**

**Drilling Mud Control (Industrial and Business Training Bureau)**

**Apuntes de mis prácticas en Campos Petrolíferos del Norte del Perú.**

**"Field Testing of Drilling Fluids" (Zacher)**

**"Regaining Lost Circulation" (Williams)**

**"Overcoming Heaving Shale, Salt Water (Word)**

**Control of Drilling Mud" (Uren)**

**"Cuttings in Rotary Mud" (Torrey)**

**Estudio de las propiedades físicas de los lodos de Perforación(Tickell)**

**"The Effects of Reagents on Drilling Muds (Thornton)**

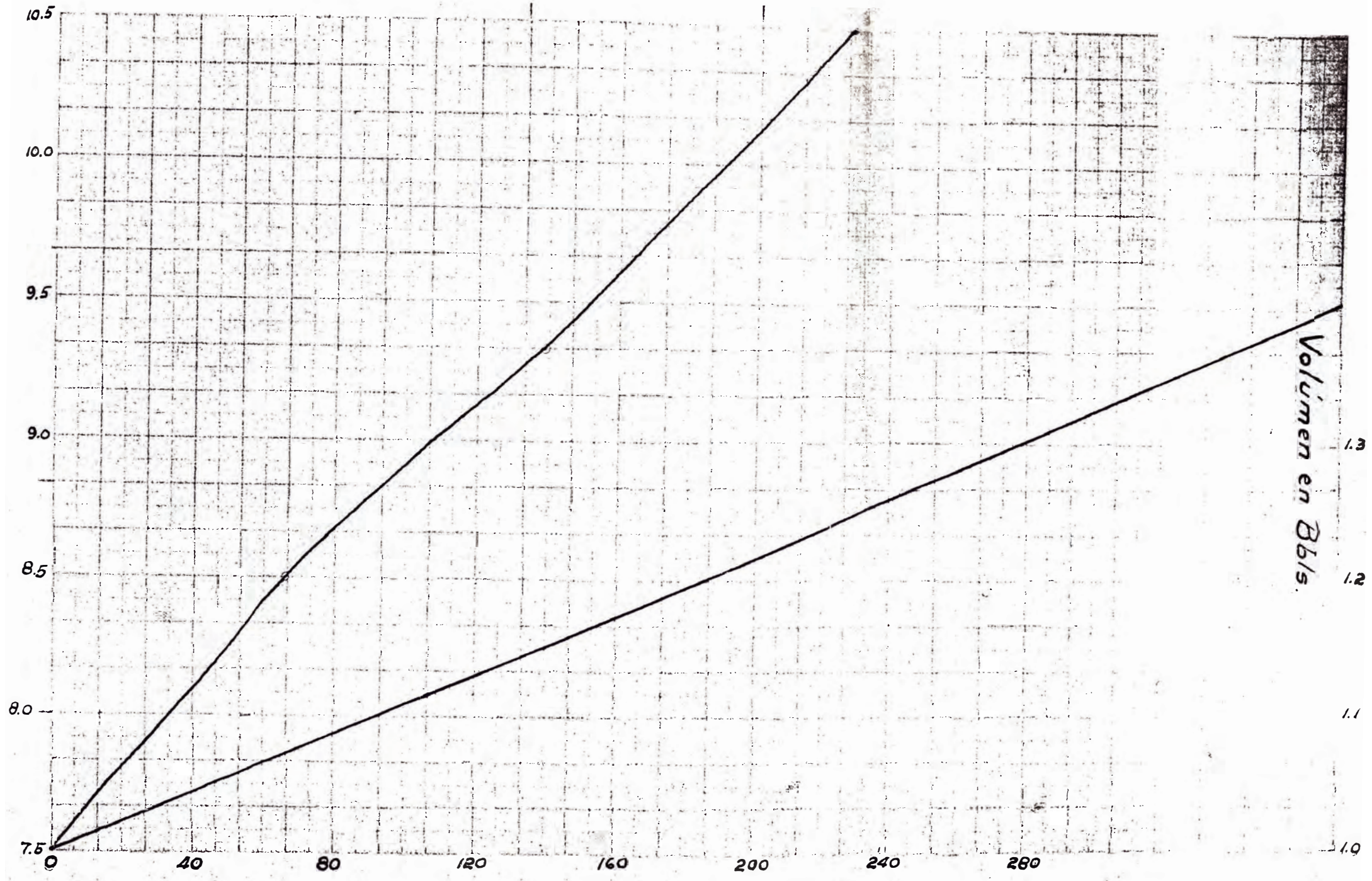
**Uso de Barita como material densificante (Stroud).**

**El Lodo de Perforación (Surfluh)**

**Medida de la Densidad del lodo (stearns)**

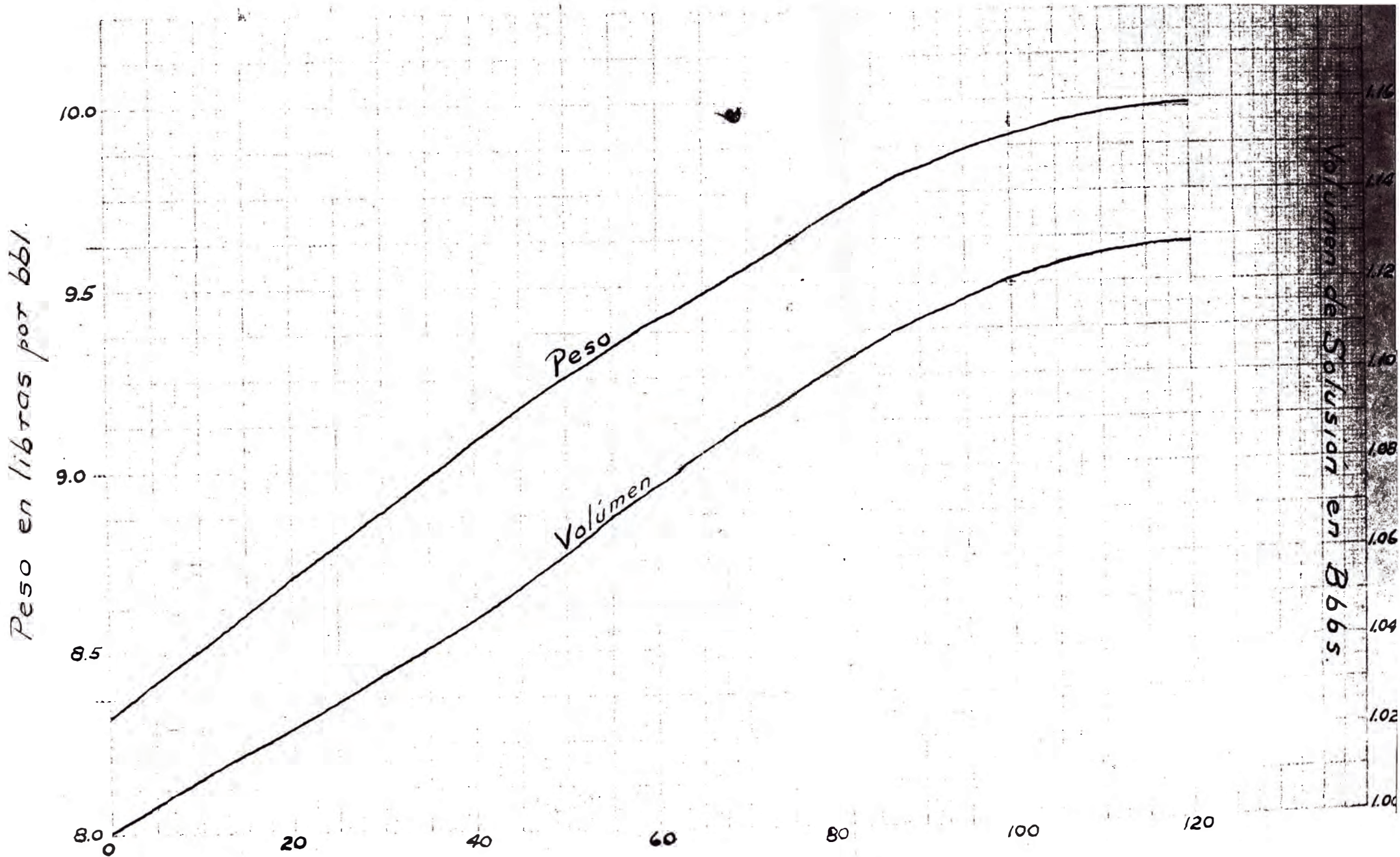
**Pérdida de Circulación (Stearns)**

**Funciones del Lodo de Perforación (Stearns)**  
**Control de la presión del lodo (Stearns)**  
**Bentonita o arcilla Coloidal (Spence)**  
**"Mud as a Blowout Preventer" (Smiley)**  
**Tratamiento del lodo al encontrar dificultades (Simons)**  
**Químicas usadas en el lodo (Simons)**  
**Pérdidas de Circulación (Silent)**  
**Lodo a base de Petróleo (Short)**  
**Tratamiento del lodo con coloides orgánicos (Sawdon)**  
**Problemas del lodo en la Perforación (Sawdon)**  
**Tratamiento Químico del lodo (Sawdon)**  
**Control del lodo en pozos profundos (Ratcliffe)**  
**Control del paso del lodo en pozos exploratorios (Pryor)**  
**Uso de lodos de Silicato de Sodio en la perforación de zonas arcillosas o de agua salada (Pryor)**  
**Rotary Drilling Muds (parsons)**  
**Químicas usadas en el Tratamiento del lodo (Ambrose)**  
**Lodo de Perforación (Ambrose)**  
**Uso de Cal en el lodo (Bignell)**  
**Tratamiento y Control del lodo (Bonnet)**  
**El problema del lodo en la Perforación (Collom)**  
**Problemas del lodo de Perforación (Dansby)**  
**Concepto moderno de Material Arcilloso (Grim)**  
**Características y aplicación de un lodo a base de petróleo (Hindry)**  
**Características físicas del lodo (Kerr)**  
**Propiedades coloidales de las arcillas (Lewis).**

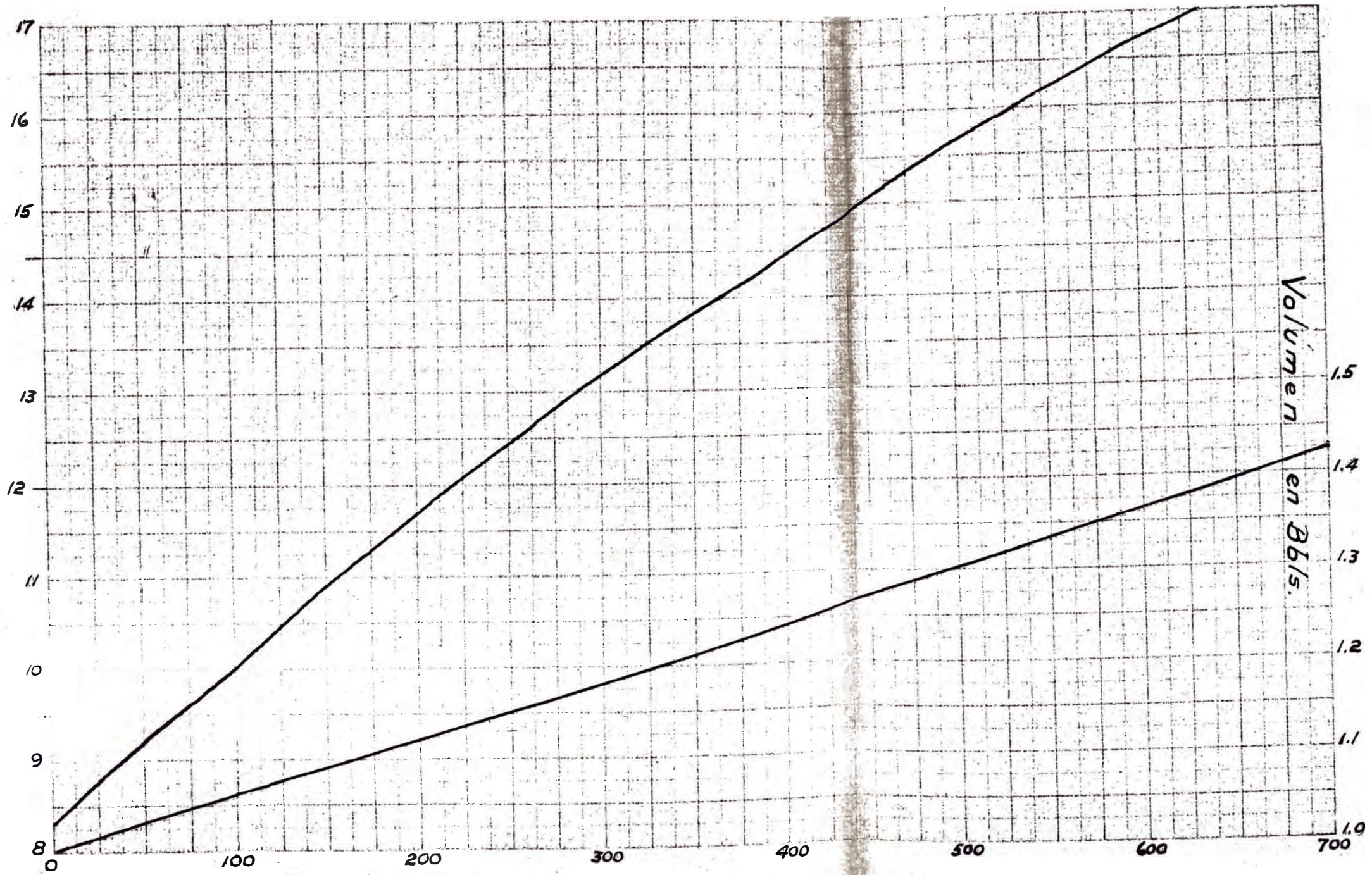


Libras de CO<sub>3</sub>Ca por bbl. de lodo

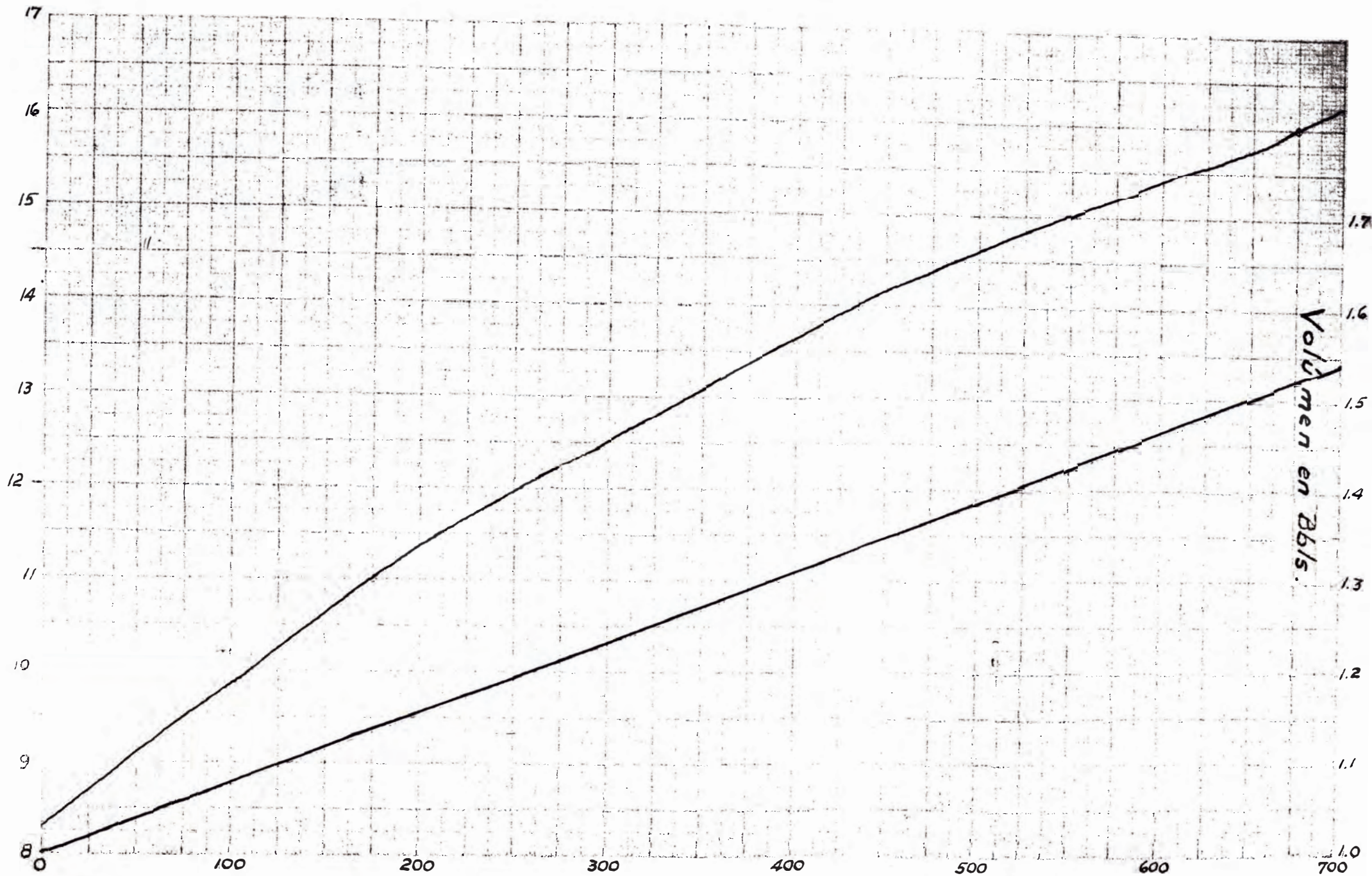
Volumen en Bbls.



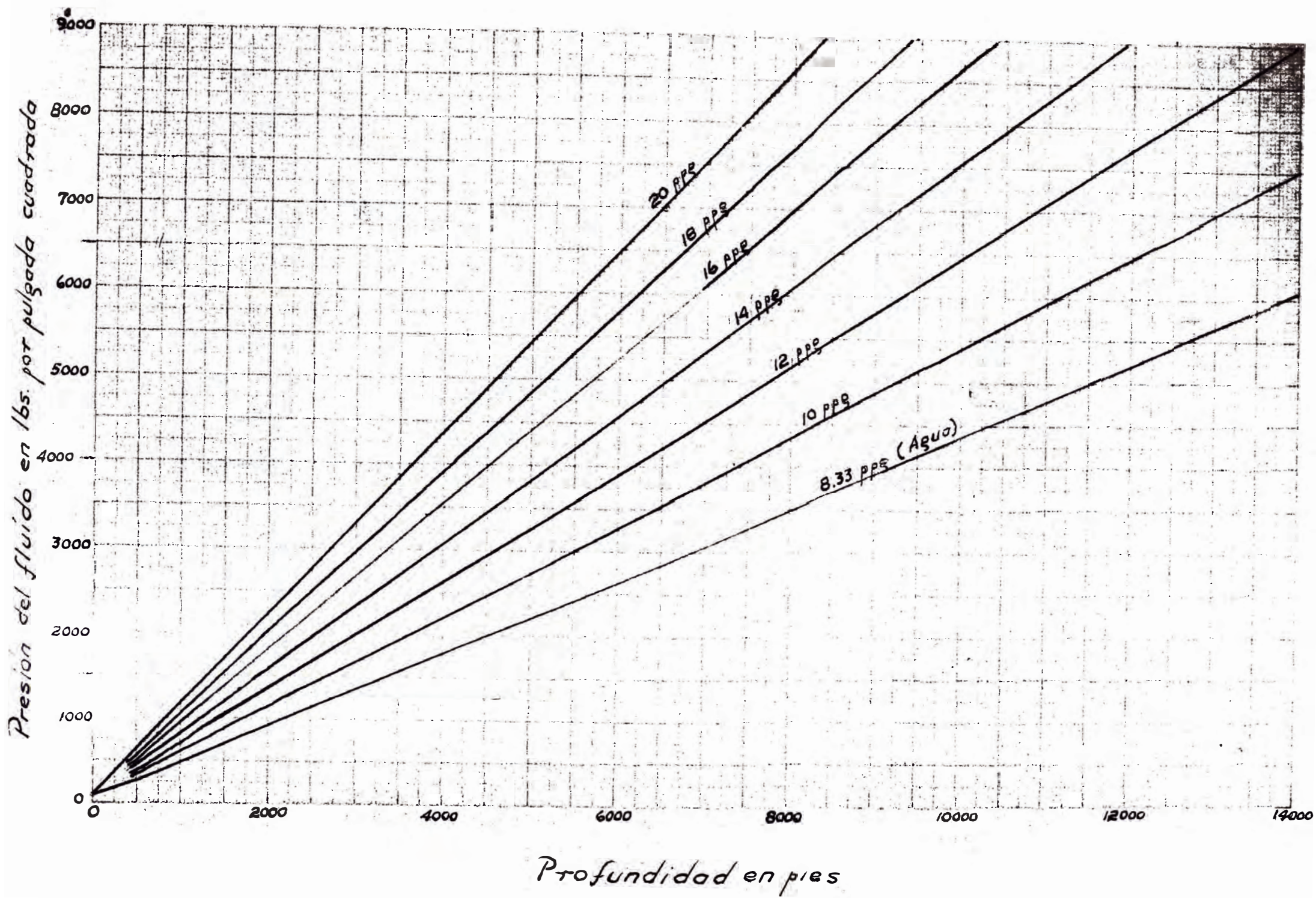
Libras de ClNa añadidas por bbl



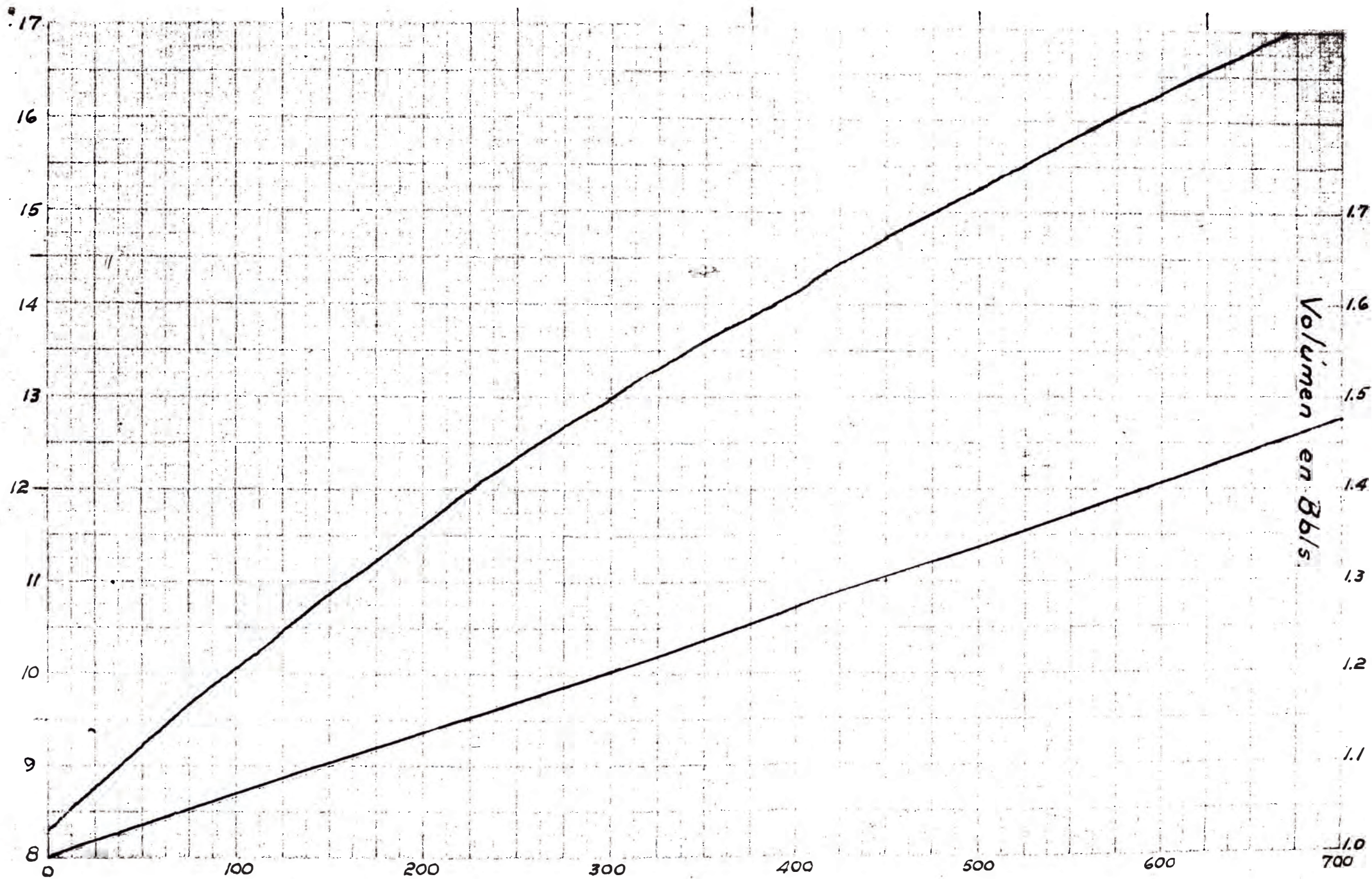
Libras de Oxido de Hierro por bbl. de lodo



Libras de  $\text{SO}_4\text{Sr}$  por bbl. de lodo



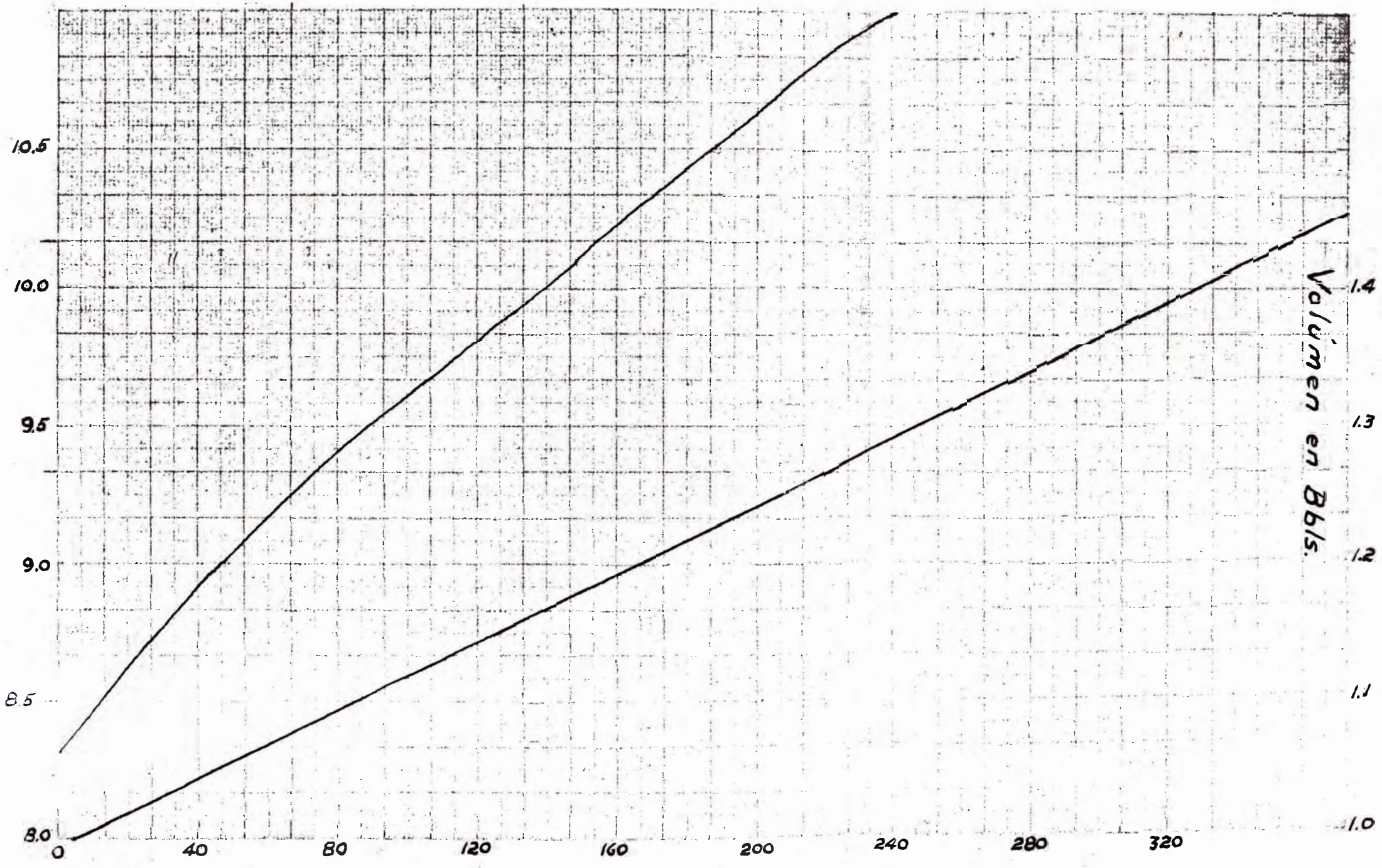
Peso en libras por galón



Volumen en Bbl/s

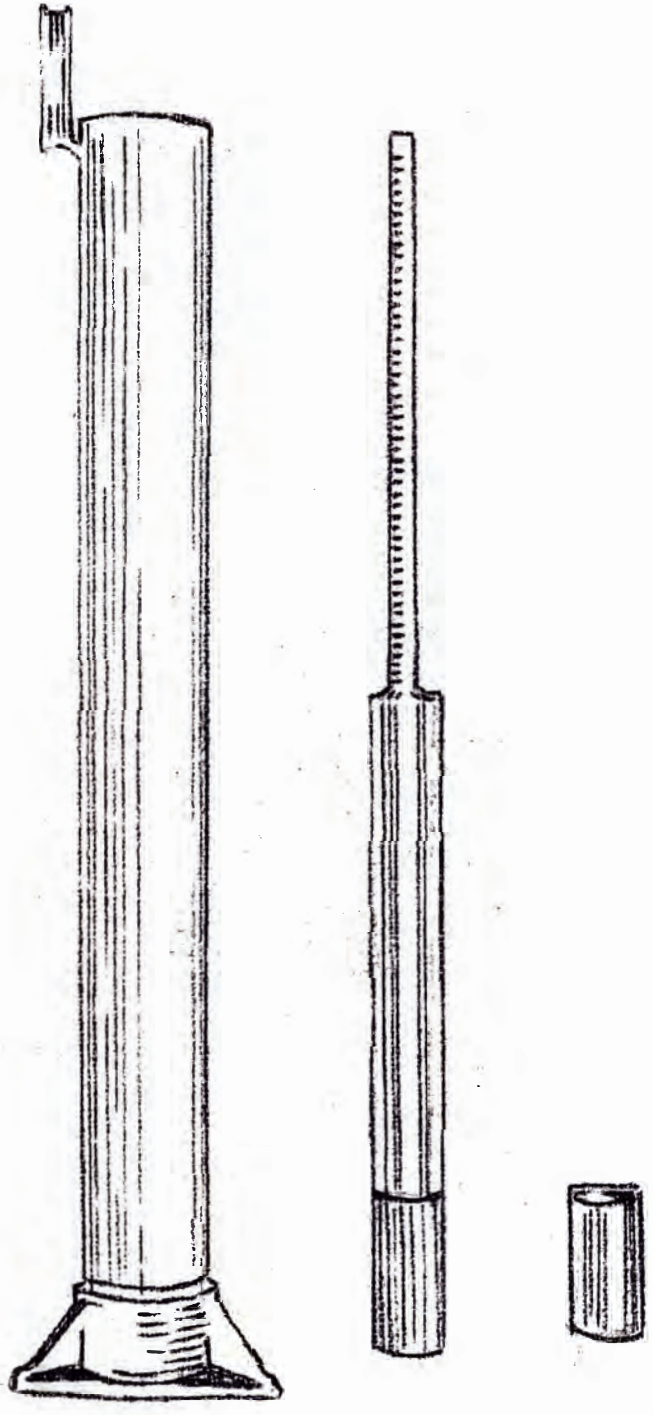
Libras de  $\text{SO}_4\text{Ba}$  por bbl. de lodo



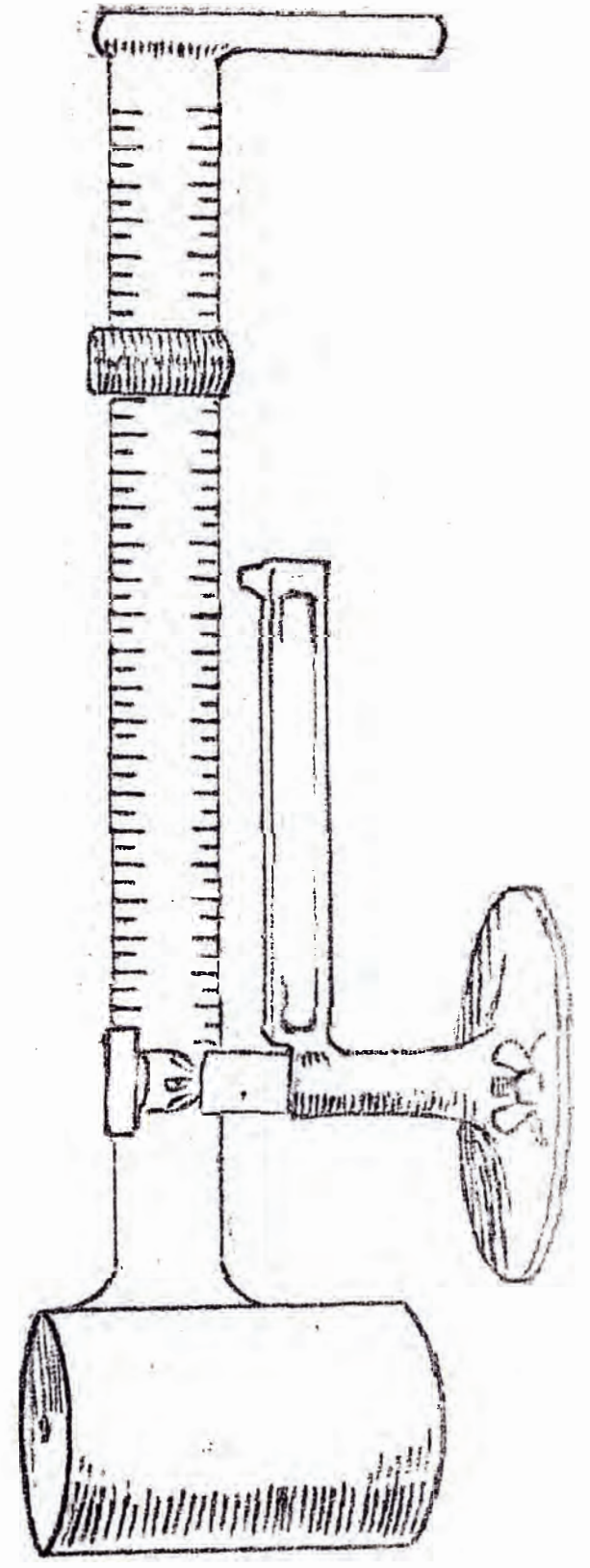


Libras de Arcilla por bbl. de lodo

Hidrómetro  
Baroid  
fig. 2

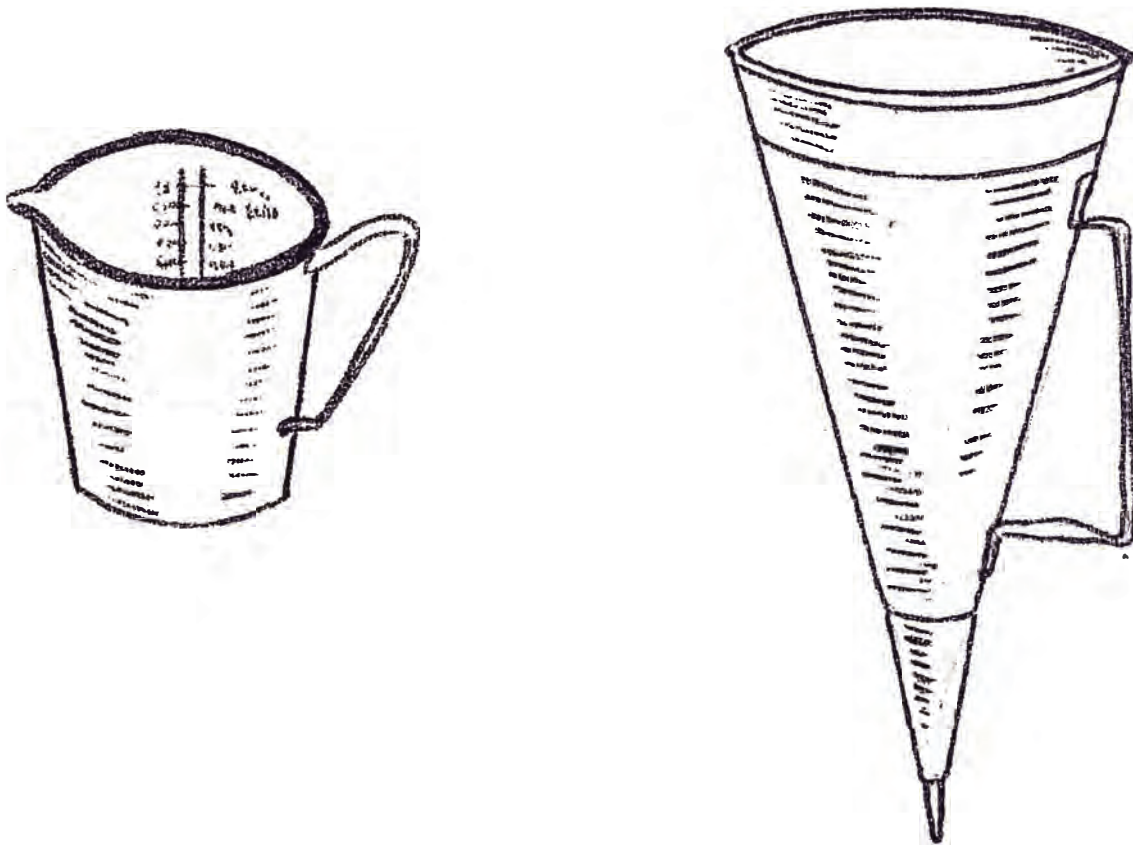


Balanza  
Baroid  
fig 1



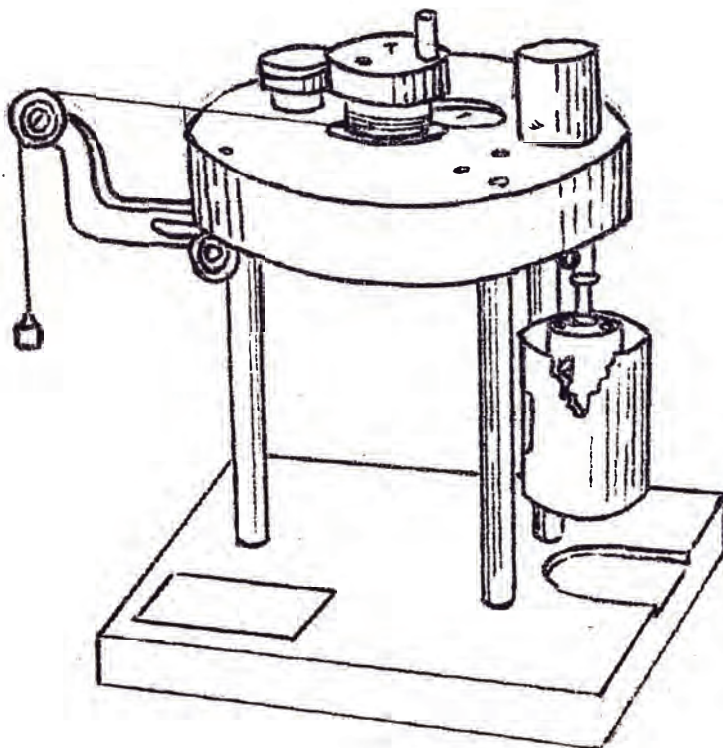
*Embudo Marsh*

*fig. 3*

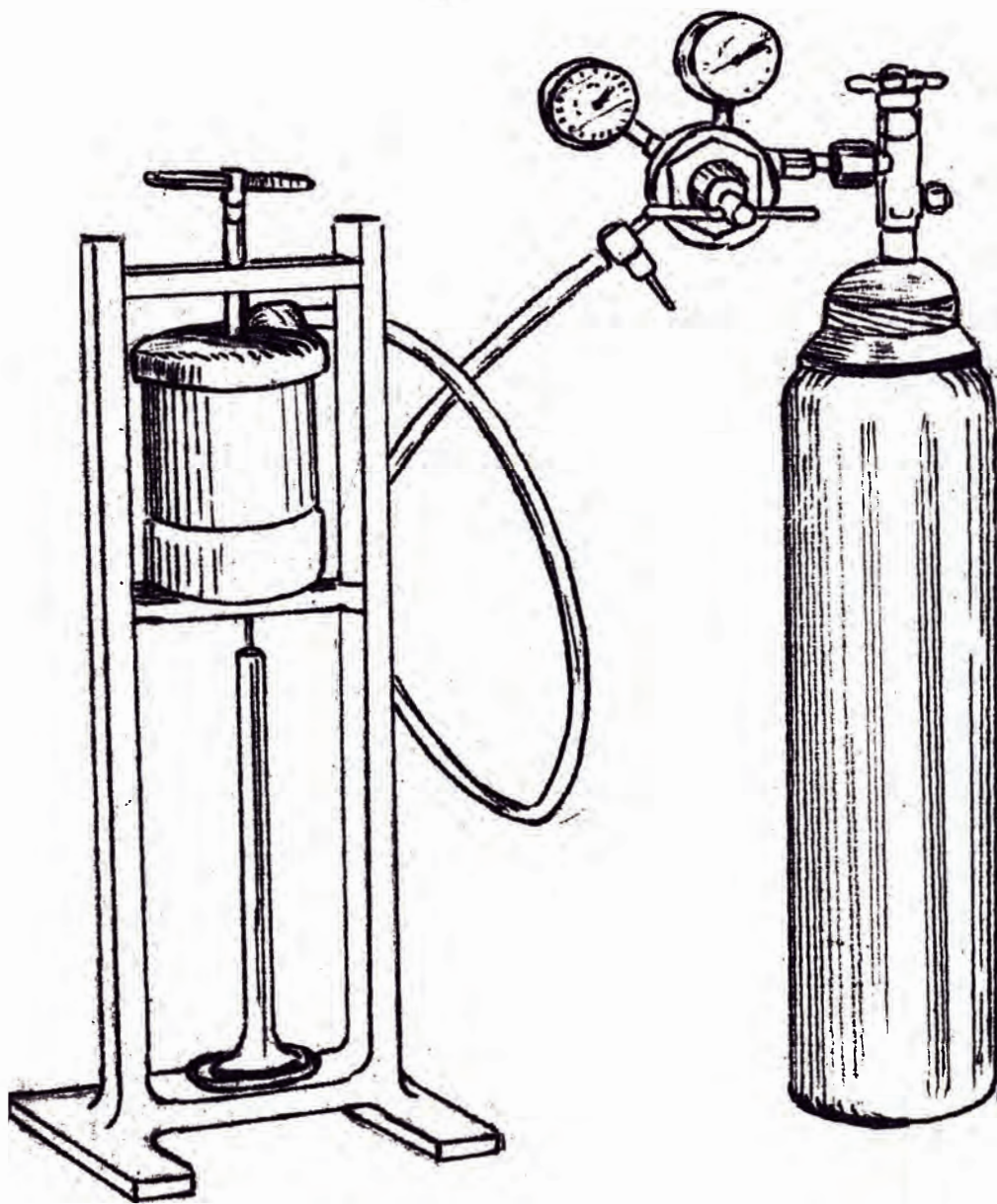


*Viscosimetro Stormer*

*fig. 5*



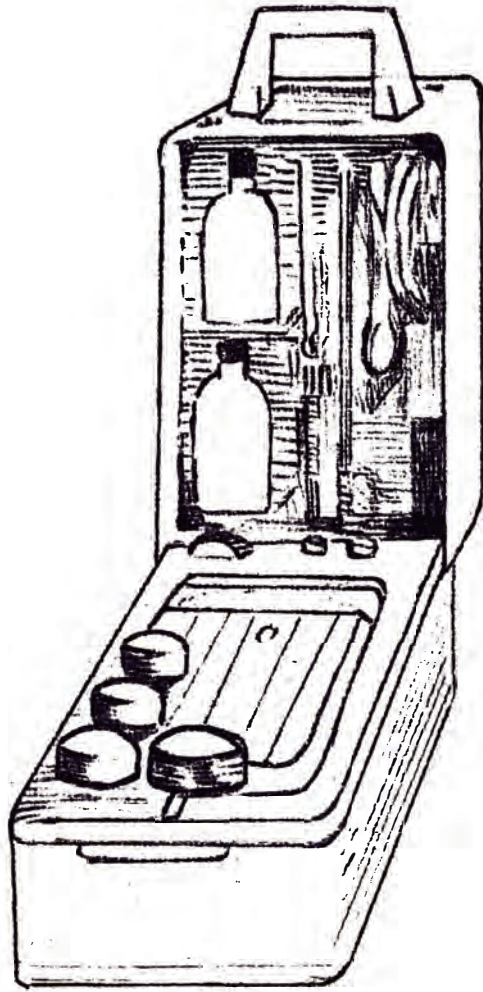
*Filtro Presa*  
*fig 4*



*Colador*  
*fig. 8*



Potenciómetro Beckman fig. 6



Shearómetro fig. 7

