

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Petroleo

El Empleo del Lodo en la Perforación de Pozos de Petroleo

Tesis de Bachiller

FRANCIS BUTTERS URTEAGA

“PROMOCION: JUAN RODRIGUEZ DEL CASTILLO”

LIMA - PERU

1963

A MIS QUERIDOS PADRES

CON MI MAS PROFUNDO AGRADECIMIENTO

## I N D I C E

### INTRODUCCION

CAPITULO	I .-	Historia -----	1
CAPITULO	II.-	Sistema de Circulacion ----	8
CAPITULO	III.-	Funciones del Lodo -----	15
CAPITULO	IV.-	Características y Control del Lodo.-	22
CAPITULO	V.-	Tipos de Lodo -----	43
CAPITULO	VI.-	Contaminantes del Lodo y su tratamiento -----	50

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

---

Al presentar a la consideración de los Señores miembros del Jurado el siguiente trabajo, para optar el Título de BACHILLER EN INGENIERIA DE PETROLEO, ha sido mi intención exponer en la forma más sencilla todos aquellos conceptos generales referentes al empleo del lodo en la perforación de pozos de petróleo.

Espero que esta exposición contribuya a pesar de su simplicidad a la formación de todos aquellos que estudien en esta Facultad, como un sencillo aporte de un ex- alumno.

También por intermedio de estas líneas quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todo el cuerpo de Catedráticos de esta Facultad los cuales han contribuido a formarme profesionalmente.

Barranco, Noviembre de 1963

CAPITULO I

H I S T O R I A .-

## CAPITULO I

### H I S T O R I A

Como podrá suponerse el desarrollo de la técnica empleada al aplicar el lodo en la perforación de pozos ha estado íntimamente relacionado con la perforación misma. Es así como en tiempos antiguos la mayoría de los pozos fueron perforados en busca de agua para beber.

Debido a estas experiencias, los hombres aprendieron - que habían otros fluidos que convenía investigar, especialmente el agua salada, de la que podía producirse sal. El año 256 A. de C. los chinos habían perforado pozos para extraer agua - salada, sus métodos solo cambiaron ligeramente en los 22 siglos que siguieron, pero formaron la base de la técnica de perforación en todo el mundo.

Se describen así los viejos métodos chinos: el pozo era forrado, con tubería de madera y subiendo y bajando en el interior de ésta, estaba suspendida una herramienta perforadora de metal que algunas veces pesaba 300 lbs.

Levantando la herramienta y dejándola caer por medio de

un cable de junquillo se perforaban dos pies diarios a través de roca . Los pacientes orientales trabajaban cerca de tres a ños para perforar un pozo.

Cada cierto tiempo vaciaban pailas de agua en el hueco, para ablandar la roca y reducirla a pulpa. Posteriormente pa-  
raban la perforación y bajaban un recipiente tubular para ex-  
traer los cortes.

Los chinos conocieron dos usos del lodo 1) ablandar las  
formaciones; 2) ayudar a retirar los cortes.

A excepción de los pozos perforados por los chinos, po-  
cos pozos fueron perforados a través de roca antes del siglo  
XIX. La mayoría de ellos fueron excavados a mano, y a profun-  
didades relativamente pequeñas.

La historia de los fluidos de perforación puede separarse  
se en tres per'iodos distintos. El primero que va de los tiemu  
pos antiguos hasta la completación del chorro de Spindletop -  
en 1901, que es probablemente el primer pozo comercialmente -  
importante producido por proceso rotativo. El segundo va des-  
de aquel pozo en 1901, hasta 1928, cuando la precursora de la  
Baroid Divicion fué organizada como la primera firma de los -  
EE.UU. dedicada a los lodos de perforación. Durante este pe--  
r'iodo los Ingenieros experimentaron con lodos para conocer -  
las necesidades específicas de la perforación. El tercer pe--  
r'iodo se extiende desde 1928 hasta nuestros días.

La primera época fué de tentativas, la segunda fué de -  
práctica y la tercera de ciencia.

En forma general, los lodos de perforación se usan principalmente en el sistema rotativo.

Acreditado por la mayoría de los historiadores como el primer pozo perforado a percusión en los EE.UU. fué el de los hermanos David y Joseph Ruffner en West Virginia. Empezando en 1806, pasaron 18 meses perforando en busca de agua salada, improvisando herramientas y métodos conforme avanzaban. El equipo que usaron fué de tipo Pértiga-Resorte, que fué muy popular en los siguientes 50 años.

Los hermanos Ruffner deben ser conocidos como los introductores de algunas técnicas de perforación. Bosquejaron una broca de acero, conocieron el uso de la tubería conductora y también diseñaron lo que se puede llamar el primer obturador para impedir el flujo de fluidos no deseados en el pozos.

En el siglo XIX hubo un notable desarrollo de esta técnica y se otorgaron patentes de castillos, brocas, herramientas de pesca, etc.

Hasta este momento el petróleo solo había aparecido ocasionalmente en pozos perforados en busca de agua salada y no tenía importancia comercial.

En 1845, parece que no hubo atención en usar lodos con el equipo de perforación. No se hizo más que verter agua en el pozo para ablandar formaciones duras y para ayudar a retirar los cortes.

Se tiene conocimiento de la perforación de un pozo en -

Francia por el Ing. Fauvelle, utilizando un sistema de limpieza con chorros de agua. Su mecanismo podía operarse en forma rotativa o por percusión. El fluido usado fué agua, nadie pensaba todavía en mezclar arcilla u otra sustancia con el agua para hacer un fluido lodoso.

A partir de 1846, se fueron profundizando las perforaciones y aprendiendo nuevas técnicas. En 1857 se otorgó una patente a un inventor llamado Bowles, su método consistía en emplear una tubería hueca, el agua se bombea por espacio anular y regresaba por el vástago hueco.

Luego vino el primer pozo comercial de petróleo perforado en Norteamérica, bajo la dirección del coronel E.L. Drake en Pennsylvania, que fué completado el 28 de Agosto de 1859 a 69'. Aquí el método de percusión usado 50 años antes por los hermanos Ruffner, halló su apogeo y llegó a ser la técnica básica de perforación durante décadas, llamándosele la técnica "Usual Norteamericana"

Antes de la época de Drake, excepto el estudio hecho en Austria por Beer no había habido una real aplicación de los principios rotativos de la conducción de fuerza.

En 1860, el francés Leschet usó un equipo rotativo con broca de diamante. En los siguientes años vinieron muchos inventos y patentes relacionados con la perforación mecánica, así en 1806 se introdujo elementos como la broca de aletas, la máquina de vapor y la mesa rotaria.

A partir de 1870 se fué dando más importancia al taladro de diamante. Esta máquina usaba una sarta perforadora tubular, con un eslabón giratorio para el agua, en su extremo inferior, una corriente constante de agua era forzada por el interior de la sarta y subía por el espacio anular a la superficie.

Mientras tanto, en Europa el éxito de Fauvelle, no se quedó atrás, nuevas versiones de su técnica ayudaron en el progreso de la perforación, como ejemplo tenemos los pozos de Alsacia en 1881 y también en los campos rusos de Bakú.

Hasta esta época, subsistía el problema de achatamiento de la tubería, debido a la continua presión requerida, además las bombas de agua no operaban continuamente ya que detenían la perforación cada dos pies de profundidad y dejaban que las bombas arrastraran los cortes.

Así llegamos al año 1880 en que recién se dió importancia al lodo como fluido de perforación. En la patente registrada por M.T.Chapman en 1887 y obtenida en 1890 se mencionaba el uso de una corriente de agua y cantidad de material plástico, por la cual las muestras formadas eran expulsadas y se formaba una pared impermeable a lo largo de la pared del pozo.

Ciertamente cuando este método fué usado en la perforación de pozos petrolíferos, se hallaron objeciones al uso de un fluido. Por un lado temían que las evidencias podían pasar desapercibidas en el chorro de lodo. Algo más importante, hallaron que la presión de agua que se bombeaba al hueco podía hacer que ésta penetrara en formaciones blandas, inundándolas

e inutilizándolas como fuentes de petróleo. Esto último es aún objeto de mucha discusión.

Desde ésta época comenzó la ciencia de la Ingeniería de Lodos, ya que se le dió su uso más importante; combatir las pérdidas de circulación previniendo que el agua ingrese a las formaciones.

La aplicación de Chapman discutía el uso de varios aditivos para ayudar a edificar un "forro" en las paredes del pozo, aconsejando el uso de arcillas, arena, cemento y otros materiales similares.

En 1889 un perforador llamado B. Andrews, estableció -- que una costra de lodo ayudaría a fortalecer las paredes del pozo. Una patente registrada este mismo año por Jhon L. Buckingham (Dakota) mencionaba el uso de una "sustancia untuosa" en vez de agua para usarse como fluido de perforación, otra patente menciona en forma somera el uso de lodos a base de aceite.

Por los años de 1890 quedó listo el escenario para la entrada de un grupo de hombres cuyos esfuerzos se unieron para llevar el sistema rotativo con limpieza de chorro a su apogeo.

Ellos fueron los hermanos Backer que habían experimentado en Dakota, y los hermanos Hamill que se unieron a ellos en Corsiana, Texas formando una compañía para fabricar equipos rotativos basados en el diseño de los Backer firma que --

existe hasta hoy.

Es así como en 1901 en las cercanías de Spindletop vie  
ron cristalizados sus esfuerzos, con las técnicas estudiadas  
logrando extraer petróleo de una profundidad de 1040 pies, -  
con esto quedaron definitivamente ligadas las técnica de la  
perforación rotaria y el uso del fluido de perforación. Con-  
tribuyeron a esto los chinos, los Ruffner, Fauvelle, Loschet,  
Chapman los Backer pero la mentada cuadrilla de Spindletop co  
rresponde el incuestionable honor de ser la cumbre de todas -  
las técnicas anteriores.

\*\*\*\*\*

## CAPITULO II

### SISTEMA DE CIRCULACION

## CAPITULO II

### SISTEMA DE CIRCULACION

En las operaciones usuales de perforación rotatoria, se utiliza más potencia en la circulación del lodo de perforación que en cualquier otra operación. Las bombas, líneas de flujo, tubería de perforación, boquillas y áreas en las que fluye - el lodo merecen la atención cuidadosa de parte de los Ingenieros. Aún cuando mucho del trabajo de diseño e investigaciones experimentales se han llevado a cabo en las diferentes piezas del equipo de circulación, las nuevas ideas y conceptos en la perforación, hacen que se requieran periódicamente nuevos análisis de Ingeniería.

En la circulación normal el lodo se bombea hacia el fondo del pozo por la tubería de perforación, descarga por la - barrena y regresa a la superficie por el espacio anular afuera de la tubería de perforación. En la circulación contraria usada en el lavado de pozos, el lodo se bombea por el espacio anular y regresa por el interior de la tubería a la superficie.

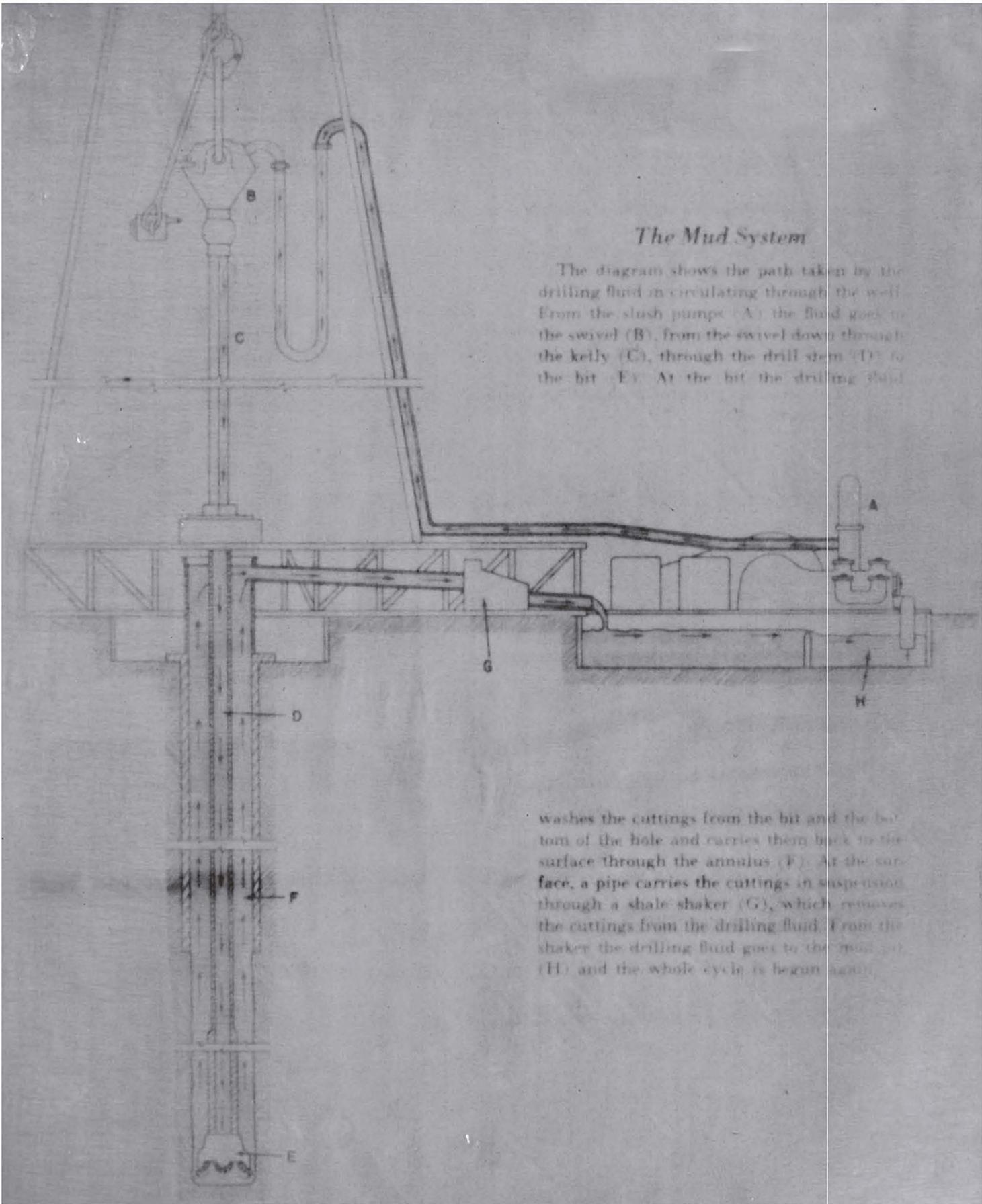
Las distintas piezas del equipo a través de las cuales

pasa el lodo se describen en los siguientes párrafos en el orden de circulación normal.

En la superficie se requieren presas o tanques para almacenar el lodo. El volumen así conservado en el sistema de circulación oscila entre 300 a 700 barriles. Las presas de lodo excavadas en la tierra con un tractor de cuchilla, son por lo general dos en número y sus dimensiones varían de 2 a 3 m. de ancho por 10 a 13 m. de largo y 1 a 1.25 m. de profundidad.

Los tanques de acero a menudo son de las mismas dimen--siones anteriores teniendo la ventaja sobre los excavados de--ser fácilmente transportados y dan lugar a que haya menos o--portunidad de que el lodo se contamine con arena y otros matereriales. En los bordes de estos tanques lo mismo que en los excavados, se colocan pistolas de agitación las cuales son alimentadas por una bomba auxiliar que generalmente es menor potencia que la de circulación Otro aditamento de superficie en las cantinas de lodo, es el embudo mezclador que sirve para -preparar o acondicionar el lodo, este dispositivo produce un flujo de chorro el cual mezcla los materiales sólidos que se agregan comunmente al lodo. En esta operación, el lodo líquido o el agua se sacan de la cantina con la succión de la bomba y se descargan a presión por el fondo del embudo. La energía cinética del chorro suministra energía suficiente para -dispersar los fragmentos sólidos del lodo.

Las bombas de lodo constituyen la parte principal del -



### The Mud System

The diagram shows the path taken by the drilling fluid in circulating through the well. From the slush pumps (A) the fluid goes to the swivel (B), from the swivel down through the kelly (C), through the drill stem (D) to the bit (E). At the bit the drilling fluid

washes the cuttings from the bit and the bottom of the hole and carries them back to the surface through the annulus (F). At the surface, a pipe carries the cuttings in suspension through a shale shaker (G), which removes the cuttings from the drilling fluid. From the shaker the drilling fluid goes to the mud pit (H) and the whole cycle is begun again.

sistema, ya que de su tamaño y eficiencia dependerá en gran parte el avance de la perforación.

Las bombas que más se utilizan son de dos cilindros (duplex) de doble acción, del tipo reciprocante. Esto es que -- mientras por un lado del cilindro está entrando el lodo, por el otro se está descargando.

De esta manera en un ciclo completo de cada pistón para un cilindro, resulta un volumen bombeado igual al doble del volumen del cilindro, menos el volumen del varillón.

El volumen desplazado por estas bombas, considerado un 100% de eficiencia es:

$$Q = 0.00864 \text{ NL } \pi (2R_1^2 - R_2^2)$$

en donde:

Q = Gasto en galones por minuto.

N = Strokes por minuto.

L = Longitud de carrera en pulgadas.

R<sub>1</sub> = Radio de la camisa en pulgadas.

R<sub>2</sub> = Radio del varillón en pulgadas.

Variando las camisas de una bomba se puede hacer variar el volumen y la presión de descarga. Así por ejemplo, se se quiere aumentar la presión, el diámetro de la camisa debe ser reducido. Esto a su vez provoca la disminución del volumen de la cir

culación.

La potencia requerida por las bombas se puede calcular de las siguientes fórmulas:

$$\text{HP (de salida)} = 0.00059 \text{ QP}$$

en donde:

P = Presión en p.s.i.

Q = Gasto en galones por minuto.

Desde que ninguna bomba tiene 100% de eficiencia, la potencia de entrada se obtiene multiplicando la fórmula anterior por la eficiencia de la bomba en consideración. Si dicha eficiencia fuera de 85% la fórmula sería:

$$\text{HP (de entrada)} = 0.000694 \text{ QP}$$

La línea de descarga de la bomba de lodo es generalmente tubería doble extra reforzada.

Se acostumbra a tener una cámara de amortiguación con aire comprimido en la parte superior, cerca de la descarga de la bomba, esto se hace para suavizar parcialmente las variaciones de presión en la descarga de la bomba. La línea de descarga de la bomba debe tener una válvula de seguridad y ésta deberá estar protegida y equipada a modo de que el personal no vaya a sufrir daño cuando descargue la válvula.

Es así como el camino recorrido por el lodo desde la - bomba, llega a la manguera que conduce el lodo del extremo su perior del tubo, al costado del castillo, hasta la unión gira toria que soporta la parte superior de la columna de perforaci ón. Las características de flexibilidad permiten elevar y bajar la tubería de perforación mientras que el lodo se está bombeando a través de la tubería.

La unión giratoria desempeña dos funciones: Permite - que gire la tubería y conduce el lodo hacia ella. La unión - giratoria está sostenida por la polea viajera de la torre y a su vez la unión giratoria sostiene el vástago Kelly que es girado por la mesa rotaria.

Los diámetros interiores de la tubería de perforación, las uniones para tubería y lastrabarrenas, lo mismo que las - boquillas de descarga en las brocas, determinan la mayor par te de las pérdidas de presión en el flujo de los fluidos de perforación.

El lodo regresa a la superficie por el espacio anular fuera de la tubería. El diámetro mayor en el espacio anular - lo fija el tamaño de la broca, y en la parte superior del pozo este diámetro está determinado por la tubería de revestimien- to que se haya colocada y cementado en el pozo. El flujo as- cendente del lodo pasa por el preventor de reventones y luego por la línea de flujo horizontal que está debajo del piso de la torre, la cual lo conduce a las presas de lodo.

Una criba vibratoria que por lo general está colocada encima de la primera cantina recibe el lodo que regresa por la línea de circulación.

La criba vibratoria es esencialmente un tamiz malla # 10 que se usa para separar los detritus de la perforación y los derrumbes del lodo.

Hay dos tipos en uso común, en uno la malla está en forma de cilindro cónico, que gira debido al flujo del fluido. El otro es una malla inclinada montada horizontalmente en un marco metálico el cual se hace vibrar gracias a la rotación de una excéntrica movida por un motor eléctrico o hidráulico. En los dos, el fluido cae por gravedad a través del tamiz y los recortes de perforación, así como los restos de derrumbes los cuales pasan y caen por el extremo de la malla. Las aberturas de la malla son casi siempre rectangulares.

Otras piezas del equipo de uso no general son cámaras de vacío, que eliminan el gas de los lodos de alta densidad.

\*\*\*\*\*

CAPITULO III

FUNCIONES DEL LODO

## CAPITULO III

### FUNCIONES DEL LODO

El lodo o fluido empleado en la perforación tiene una importancia tal, que cumpliendo con todas las funciones para el cual se usa, debe favorecer la perforación y dar las seguridades necesarias durante el transcurso de ella.

Las funciones que cumple el lodo en la perforación de pozos son las siguientes:

- a).- Traer a la superficie los detritus cortados por la broca.
- b).- Controlar las presiones.
- c).- Enfriar, lubricar la broca y la columna de Perforación.
- d).- Mantener en suspensión los detritus cortados por la broca al ser suspendida la circulación.
- e).- Mantener firmes las paredes del hueco.
- f).- Evitar la corrosión en la columna de perforar.
- g).- Evitar el ingreso de agua y elementos extraños del hueco a la formación y viciversa.

a).- TRAER A LA SUPERFICIE LOS DETRITUS CORTADOS POR LA BROCA.

La velocidad que trae el lodo al ser accionado por la bomba, produce un efecto de arrastre en las partículas y cortes hechos por la broca los cuales trata de llevar a la superficie.

Si la velocidad es muy baja este efecto se anula con el consiguiente resbalamiento de los cortes hacia el fondo del pozo produciendo el empaquetamiento de la broca y en muchos casos el atascamiento de la tubería. El efecto de resbalamiento puede ser controlado también por la viscosidad del lodo, que permite mantener el hueco limpio. Un lodo <sup>de</sup> adecuada gelatinización también ayuda a un mejor arrastre de los cortes de la broca pues su flujo es turbulento.

En general en la perforación de pozos en el Norte del Perú, es práctica usual emplear viscosidades de 40 a 43 segundos de embudo Marsh con velocidades normales de la bomba, dando resultados satisfactorios para el perfecto arrastre de los cortes.

b).- CONTROLAR LAS PRESIONES

Durante el transcurso de la perforación de un pozo, el lodo debe tener una densidad tal que permita que la columna de lodo produzca una adecuada contrapresión, para poder así contrarrestar las presiones de las formaciones y evitar el in

greso de gas, aceite o agua, al pozo.

Es así que debido a su peso, el lodo ejerce una cierta presión que debe ser mayor que las conocidas o probables presiones que puedan tener los estratos de gas, petróleo o agua, que se está atravezando, para impedir que estos entren al hueco.

Los cálculos previos de este peso se deben hacer en base a un hueco lleno de lodo suponiendo que no se ha bajado la cañería de perforar o se ha producido una pérdida de circulación.

c).- ENFRIAR Y LUBRICAR LA BROCA Y LA COLUMNA DE PERFORAR

Al cumplir con esta función el lodo debe estar lo suficientemente fr'io para absorber el calor producido por la fricción de la broca y el pandeo de la tubería, al rozar las paredes del pozo.

También debe tener la suficiente velocidad para sacar rápidamente a la superficie ese calor y disiparlo.

Para lubricar la broca, el lodo debe estar libre de arena, tener baja viscosidad de tal modo que fluya a través de todas las partes móviles y también debe tener propiedades lubricantes, las cuales depende de la cantidad de arcilla conte nida en él y de su tratamiento químico.

Para lograr que el lodo se enfríe al llegar a la superficie y deje asentar la arena que lleva arrastrando, son con-

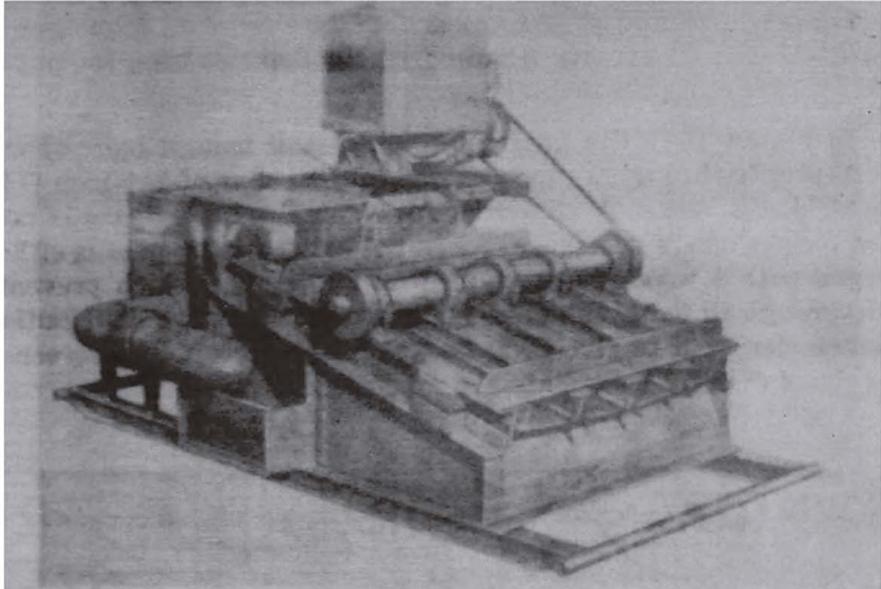
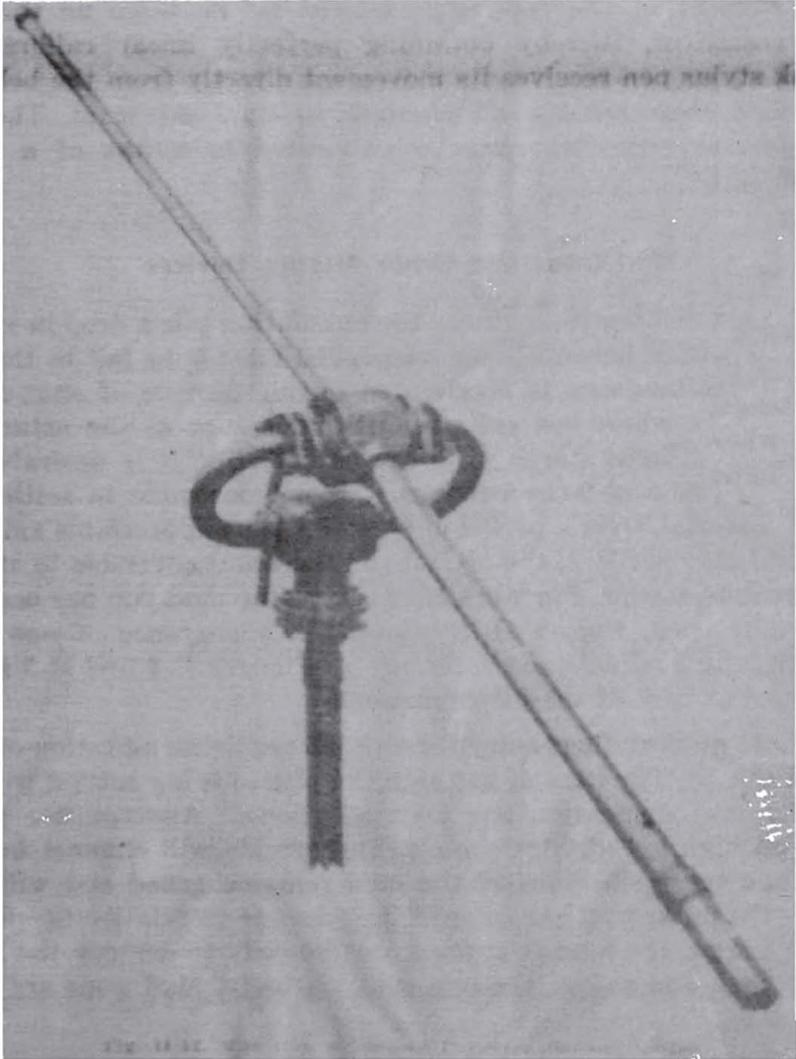


Fig. 11-18. Vibrating Screen for Sand and Cutting. (Courtesy Hottelison Engineering)



diciones indispensables que el lodo tenga una apropiada fuerza de gel y que circule con facilidad por las cantinas.

Actualmente se emplea en muchos equipos de lodo, el desarenador centrífugo que permite separar la arena que trae el lodo con la consiguiente pérdida de calor que este acumula durante su recorrido a la superficie.

d).- MANTENER EN SUSPENSION LOS DETRITUS CORTADOS POR LA BROCA AL SER SUSPENDIDA LA CIRCULACION.

Esta función se observa particularmente durante las interrupciones que se producen en la perforación o sea cuando el lodo permanece estático.

En estas condiciones el lodo debe ser capaz de mantener en suspensión los recortes o detritus de la perforación, valiéndose de su propiedad Tixotropica la cual hace que el lodo se convierta en pastoso o semisólido, cuando está estático y hace que vuelva a su estado normal o sea líquido en cuanto comienza la circulación. Esta propiedad es muy importante ya que sin ella al parar la circulación automáticamente se produciría el atascamiento de la tubería de perforar.

Cuando la velocidad de circulación del lodo es alta y el avance de la perforación es normal, la concentración de los cortes del lodo es muy pequeña de tal modo que un lodo con baja gelificación será suficiente para detener en su caída los pocos cortes que todavía quedaron en el hueco. Mientras

más alta sea la fuerza de gelificación, tanto más grandes podrán ser los cortes que el lodo puede mantener suspendidos , esto no quiere decir que se emplee la fuerza más alta sino - demuestra esta propiedad. En la práctica se tiende a tener una mínima fuerza de gelatinización, necesaria para cumplir con esta propiedad. La viscosidad también disminuye la caída de los cortes pero no los detiene completamente.

e).- MANTENER FIRMES LAS PAREDES DEL HUECO

El lodo al formar una costra o revoque alrededor de las paredes del hueco, evita la filtración de agua hacia las formaciones atravesadas durante la perforación del pozo, lo cual reduce el peligro de hidratación que experimentan ciertas arcillas cuando están en contacto con el agua. Un lodo con baja pérdida de agua, es decir bajo filtrado, ayuda a mantener firmes las paredes del pozo, evitando derrumbes, los cuales traerían consigo de acuerdo a su magnitud el atascamiento de la tubería.

Para tener una buena costra en el lodo es necesario que el hueco esté limpio lo cual implica que el lodo debe tener - cierta viscosidad y circular a alta velocidad dentro del hueco, logrando que sea capaz de arrastrar el material que ha molido la broca, así mismo, es necesario que el lodo sea poco gelatinizable para que circule fácilmente y limpie las partes anchas que pueda tener el hueco. El lodo en su desplazamiento

a la parte superior del hueco, a la vez que recoge los recortes 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.

Esto se explica ya que debido a la diferencia de presión que existe entre el lodo y la formación, este 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 esta no permitan la entrada de los sólidos en suspensión, dejando el sólido depositado como una costra. Sucede en algunos casos que el peso y la presión del lodo son suficientes para penetrar en las hendiduras o fisuras cavernosas, en estos casos el lodo se irá perdiendo en la formación ya sea en forma lenta o rápida, esto se conoce con el nombre de "pérdida de circulación" y es muy común en ciertas zonas petroleras del Norte del Perú.

#### f.- EVITAR LA CORROSION EN LA COLUMNA DE PERFORAR

Esto se consigue manteniendo en el lodo un bajo contenido de sal y un PH mayor de 9.5, el contenido de sal puede mantenerse bajo, tratando siempre de tener el peso recomendado de lodo, salvo el caso que se encuentren presiones inesperadas de agua salada.

g).- EVITAR EL INGRESO DE AGUA Y ELEMENTOS EXTRAÑOS DEL HUECO A LA FORMACION Y VICEVERSA.

Un lodo con baja pérdida de agua tiene un mínimo efecto de hidratación sobre las arcillas, evitando además que el aceite contenido en las arenas petrolíferas sea bloqueado debido a la mojadura de esas arenas.

Es pues con este propósito que la pérdida de agua debe ser tan baja como sea posible, por esta razón en casos especiales es necesario el uso de lodo a base de aceite con pérdidas nulas de agua.

Siempre que la presión del lodo sobre una formación sea mayor que un cierto límite crítico la fase líquida irrumpirá dentro de dicha formación. Para prevenir tal pérdida es necesario mantener esa presión tan baja como la seguridad lo permita.

\*\*\*\*\*

## CAPITULO IV

### CARACTERISTICAS Y CONTROL DEL LODO

## CAPITULO IV

### CARACTERISTICAS Y CONTROL DEL LODO

El lodo aplicado a la perforación de pozos, tiene como todo fluido una serie de condiciones que cumplir, las cuales hacen que este realice las funciones para el cual se emplea con una mayor eficacia, dando como resultado rapidez y economía en la difícil tarea de perforar pozos de petróleo.

Todo lodo consta de tres fracciones: una líquida, otra formada por sólidos no coloidales y la otra constituida por los sólidos coloidales. La primera es la de mayor volumen (agua o aceite), la segunda la forman los componentes que sirven para aumentar la densidad y la tercera es la que determina el rendimiento y las propiedades del lodo.

Las partículas coloidales tienen dimensiones que varían entre 0.5 y 0.005 micrones, pero no todas tienen la propiedad de formar geles.

Dentro de las arcillas solamente las del grupo de la motmorillonita tienen esa propiedad.

Un buen lodo es el que tiene las siguientes características en la medida conveniente para el trabajo que está rea-

lizando.

Densidad.

Viscosidad.

Rapidez de gelificación .

Grado de Hidrogenación (PH).

Filtrado y espesor de la costra.

Temperatura.

Resistencia del Gel.

Contenido de arena.

#### DENSIDAD

Es muy importante que se conozca la densidad del lodo de perforación, a través de toda la operación de perforar. Se precisa tanto si se perfora a través de arenas que contengan gas petróleo, agua salada, o de pizarra, donde se necesita una densidad relativamente alta, como en zonas de producción a baja presión donde se requiere una densidad baja del lodo coloidal. Con frecuencia las pruebas de densidad colaboran a mantener un factor de seguridad al descubrir cualquier cambio que tenga lugar en el peso específico del lodo.

Se usan mucho dos instrumentos prácticos para la determinación de la densidad del lodo las balanzas y los hidrómetros.

Generalmente están graduados en libras por galón y libras por pie cúbico. Haré reseña de los más usados.

### Balanza de Lodo Baroid.-

Esta balanza proporciona un método sencillo para la de terminación exacta de la densidad del lodo. Una ventaja ex--traordinaria de esta balanza es el hecho de que la temperatura del lodo de perforación prácticamente no afecta la exactitu d de las lecturas como ocurre en los hidrometros.

Su construcción sólida hace que sea ideal para su uso sobre el terreno.

Consiste principalmente en una base con un brazo gra--duado, provisto de un vaso, tapa, pesa, nivel de alcohol y -contrapeso. El vaso de volumen constante se fija en un extremo del brazo graduado y el contrapeso en el extremo opuesto.

Para pesar lodos extremadamente pesados, se dispone de una escala que puede efectuar pesadas de lodos con densidad de hasta 23 libras por galón.

### Procedimiento de uso.-

1ro.- Quitar la tapa y llenar el vaso totalmente con - la muestra que se va a probar. Si hay burbujas de aire en el lodo, golpear el vaso hasta que desaparezcan.

2.- Colóquese nuevamente la tapa y haga girar hasta -- que esté firmemente asentados, teniendo la seguridad de que no quede lodo en el agujero de ventilación.

3ro.- Limpiece el lodo del exterior de la balanza.

4to.- Colóquese la balanza sobre la base con el sopor--te apoyado sobre la misma.

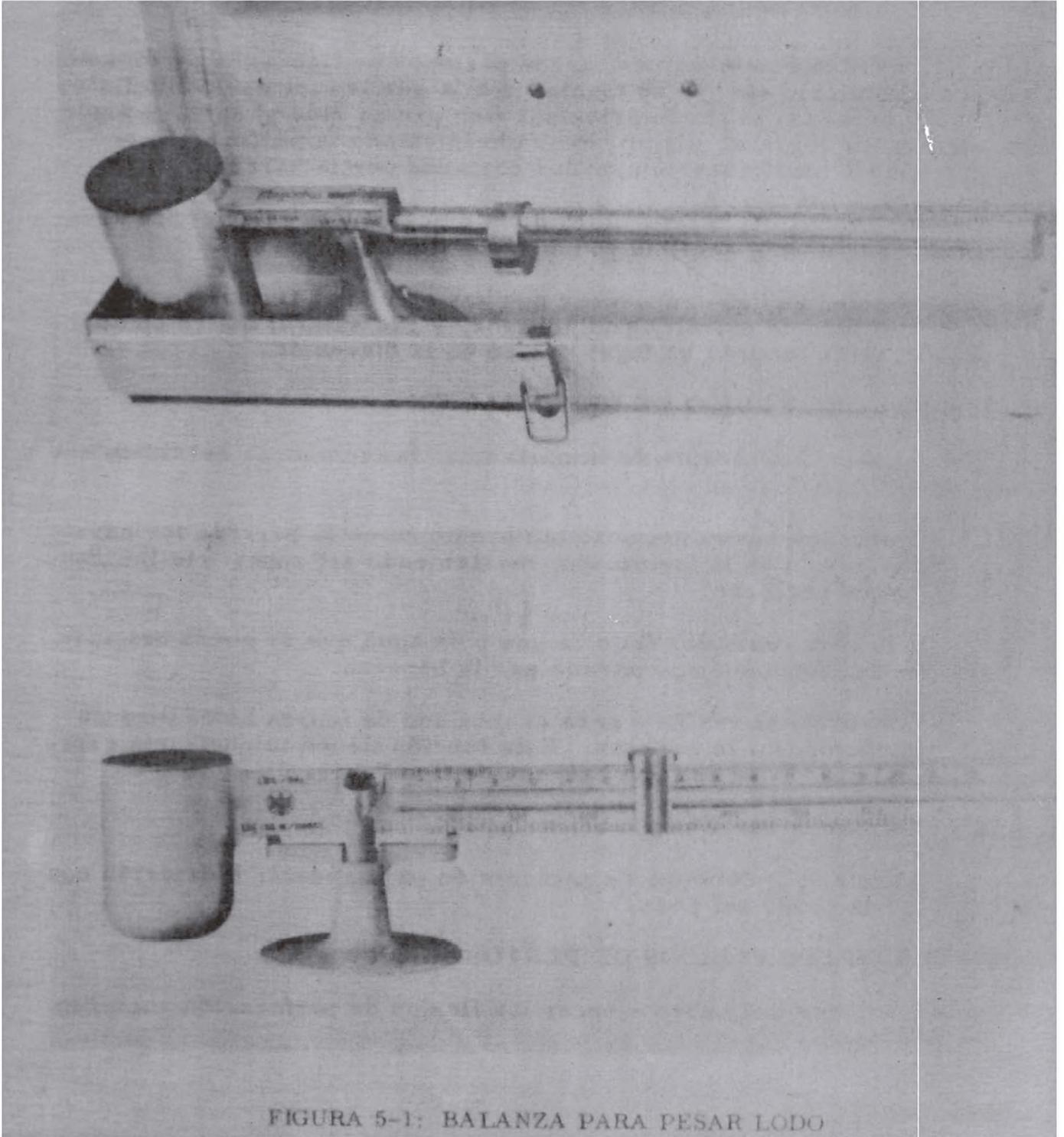


FIGURA 5-1: BALANZA PARA PESAR LODO

5to.- Múevase la pesa hasta que el instrumento esté equilibrado, lo que quede determinado por el nivel del alcohol.

6to.- Léase el peso del lodo en el brazo graduado.

#### Resultados.-

Da el peso según se lea en libras por galón o libras por pie cúbico.

#### Hidrómetro Mudwate.-

Consiste en un cilindro de aluminio flotante con un vástago, una campana de plástico separable y una caja de metal para transporte.

#### Procedimiento de uso.-

1ro.- Saque el hidrometro y la campana de la caja transportadora, llénese la caja con agua limpia dulce a una temperatura aproximada de unos 70°F.

2do.- Llénese la campana hasta el borde con la muestra que se va a probar. Si se han quedado burbujas en el lodo, - golpéese la campana hasta que desaparezcan.

3ro.- Inserte la tapa y colóquese los lóbulos uniendo la campana al flotador.

4to.- Limpiece el lodo del exterior de la campana.

5to.- Sumérjase el hidrómetro y la campana en el agua de la caja.

6to.- Léase la escala graduada en la superficie de agua.

### Resultados.-

Da el peso en libras por galón, o libras por pié cúbico.

A continuación expondré los siguientes agregados más -  
comunmente usados para controlar la densidad del lodo.

Baritina: Aumenta la densidad del lodo.

Bentonita: Aumenta las propiedades gelificantes.

Agua: Disminuye la densidad y viscosidad.

Oxido de hierro: Aumenta la densidad.

Carbonato de calcio: En pequeña cantidad aumenta la densidad.

### VISCOSIDAD

La viscosidad es la medida de la resistencia de un --  
fluido a circular. Cuanto mayor es la resistencia, más alta  
es la viscosidad.

Para las operaciones de perforar, la viscosidad del -  
lodo ha de ser controlada y se deben contar con medios nor-  
males para medir la viscosidad. El límite superior de la viscosidad  
del lodo está determinado por la facilidad de bombeo  
del lodo. Esto es, si se permite que la viscosidad se torne-  
alta, la circulación del mismo no puede ser mantenida sin exceder  
la máxima presión de trabajo admisible de las bombas -  
de lodo.

Si se permite que la viscosidad del lodo se torne demada

ciado alta, el gas de las formaciones perforadas será atrapado, ocluido dentro del lodo y no será liberado en la superficie, en este caso se dice que el lodo está "cortado con gas". Serios reventones pueden ocasionarse por el aligeramiento de la columna del lodo en el hoyo, debido a la expansión de las burbujas de gas ocluidas cerca del tope del hueco, dando como resultado la expulsión del lodo impulsado a la presión de la arena gasífera.

Un lodo de viscosidad demasiado alta puede conducir a un reventón a causa de la acción de vacío producida al izar la tubería de perforación.

Esta acción de vacío resulta de que siendo el lodo tan viscoso no puede llenar completamente el espacio que van dejando la broca y la columna del lodo sobre el fondo del hueco ocasionando el reventón.

Al aumentar la viscosidad, la arena y los materiales si milares gruesos y abrasivos llevados a la superficie por el flujo del lodo, no pueden ser fácilmente separados de este en los desarenadores.

La recirculación de estos materiales no es deseable a causa del excesivo desgaste que producen en las bombas, la tubería, el swivel y el resto del equipo.

Se hallan en uso corriente dos instrumentos para determinar la viscosidad de un lodo. El viscosímetro de embudo Marsh y el viscosímetro rotatorio.

### El Viscosímetro de embudo Marsh.-

El embudo Marsh es un dispositivo comunmente usado en los pozos de perforación rotaria para chequear la viscosidad del lodo. En realidad este dispositivo no mide la viscosidad del lodo, solamente da una burda medida en unidades puramente arbitrarias, de la resistencia al flujo a una razon de agitación dada, comparada con la de otro lodo. Los valores obtenidos con el embudo no tienen un significado particular matemático y por lo tanto no tienen ningún valor para hacer cálculos sobre flujo o cualquier otro cálculo que necesite la viscosidad en unidades absolutas. Esto no significa que la viscosidad Marsh no puede ser convertida a unidades absolutas. J.E. Owen demostró por una serie de pruebas que las lecturas del embudo Marsh pueden ser correlacionadas a unidades absolutas cuando se utiliza líquido

La experiencia de este dispositivo ha enseñado que el rango de resistencia de flujo, tal como indican las medidas tomadas en el embudo, son deseables para ciertas condiciones del pozo. En este aspecto proporciona una rápida y simple manera de determinar el mismo pozo viscosidades que están dentro de los límites que la experiencia ha demostrado son apropiados. Su construcción simple lo hace adoptable fácilmente para ser usado en los pozos de perforación.

El embudo Marsh ha sido adoptado por el API como un dispositivo standard para la medida de la viscosidad. Su for



FIGURA 5-2: EMBUDO DE MARSH

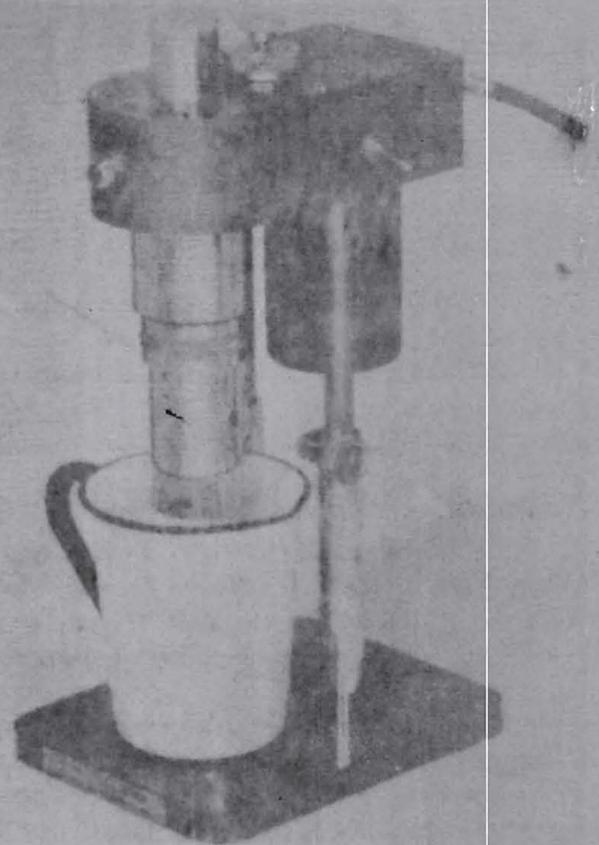


FIGURA 5-3: [Illegible]

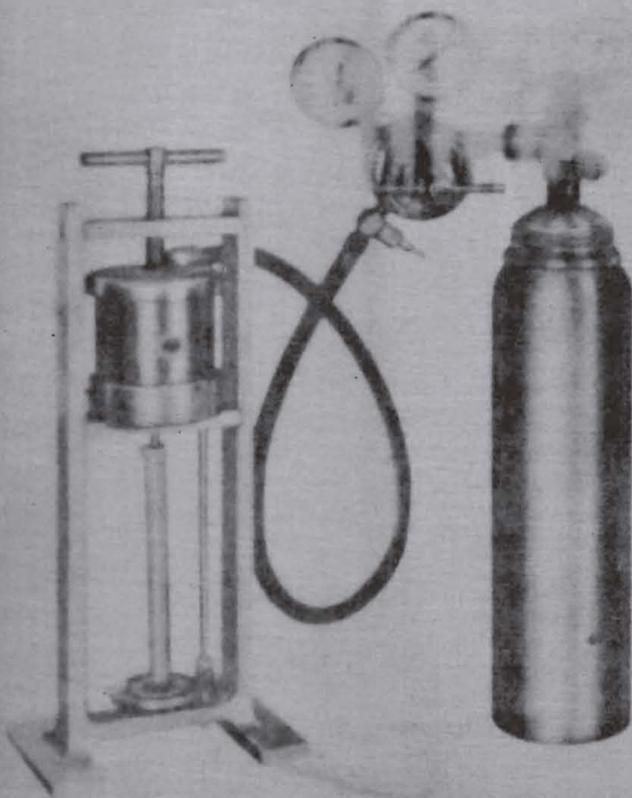


FIGURA 5-4: PRENSA FILTRO



FIGURA 5-5: PAPEL PHYDRION

ma es cónica de 6" de diámetro por 12" de altura. El pequeño tubo de descarga del fondo tiene 2" de largo y tiene un diámetro de  $3/16$ ". En la parte superior tiene un cedazo adaptado a la parte interna del embudo y colocado a  $3/4$ " de bajo del borde. El cedazo de malla # 10 se emplea con el fin de eliminar las sustancias y fragmentos extraños del lodo que se quiere probar.

Los embudos con dimensiones standard, se construyen por lo menos de tres clases de materiales diferentes: cobre-cromo-plateado, fierro esmaltado y caucho.

#### Procedimiento de uso.-

- 1ro.- Mantener el embudo en posición recta con el dedo índice sobre el tubo de escape.
- 2do.- Viértase la muestra a probar recientemente tomado del lodo a través de la rejilla en la parte superior del embudo hasta que el nivel del lodo alcanza la cara inferior de la rejilla.
- 3ro.- Retírese el dedo del tubo de escape y médase el número de segundos que tarda en salir un cuarto de la muestra.

#### Resultados.-

Da la viscosidad en segundos Marsh.

### Viscosímetro Rotativo Baroid.-

Este viscosímetro rotativo mide la viscosidad mediante un proceso de agitación haciendo mínimos los efectos del grado de gel. Por lo general este aparato se usa como complemento del embudo Marsh en pruebas de Laboratorio.

El viscosímetro rotativo Baroid. consiste principalmente en un rotor móvil que gira en una vasija que contiene lo do a probar. El rotor se acciona con engranajes accionados por un peso suspendido. Se puede determinar el tiempo necesario para que se efectúe 60 revoluciones, por medio del -- contador de revoluciones y el cronómetro.

### Procedimiento de uso.-

1ro.- Después de asegurarse de que el rotor se encuentra en la posición de operación, llénese la vasija hasta -- 1/4" del borde con la muestra que acaba de ser agitada. Si la muestra contiene materiales gruesos pásese el lodo a través de un tamiz número 20 antes de que se agite para verter la vasija.

2do.- Colóquese la vasija en el viscosímetro y hágase ascender en las varillas de apoyo tanto como se pueda. Después apriétese el tornillo de presión.

3ro.- Suéltese la tuerca del freno y agítese el lodo dando vueltas rápidamente al rotor.

4to.- Apriétese la tuerca del freno y anádase pesos -

a la plomada para girar el rotor en la vasija a 600 revoluciones por minuto (60 revoluciones en 6 segundos).

5to.- Suéltese la tuerca, agítese, permítase que la rueda haga hasta 20 a 30 revoluciones y después mídase el número de segundos que necesite la rueda para hacer 60 revoluciones (Un círculo completo en el dial).

6to.- Ajústese el peso en la plomada y repítase el concepto 4to. de tal modo que efectuen 60 revoluciones en 6 segundos, durante dos vueltas sucesivas con el mismo peso.

7mo.- El número de gramos que representa el peso total de impulsión es llevado a la tabla que usa para obtener la viscosidad en centipoises según el gráfico de calibración.

Resultados.-

Proporciona la viscosidad en Centipoises.

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.

Pirofosfato ácido de sodio: disminuye la viscosidad.

Carbonato de bario: Disminuye la viscosidad.

Hexametáfosfato de sodio: Disminuye la viscosidad.

Tetrafosfato de Sodio: Disminuye la viscosidad.

Cáustico y quebracho (tanato de sodio) disminuye la viscosidad.

Bentonita: aumenta la viscosidad.

Fosfato de sodio: reduce la viscosidad.

Tanino: Reduce la viscosidad.

La viscosidad de un lodo debe mantenerse en un valor ligeramente mayor del necesario para asegurar un pozo limpio y en buenas condiciones, durante los <sup>viajes</sup> de la cañería de perforar.

#### FUERZA DE GELIFICACION

La fuerza de gelificación de los lodos de perforación es la medida de la mínima presión necesaria para producir un movimiento deslizante o en otras palabras es la fuerza propia del lodo que le permite permanecer en un estado estático, un determinado tiempo.

La medida obtenida con el viscosímetro giratorio Baroid es el peso mínimo de impulsión en gramos; que se requiere para producir el movimiento del rotor, sumergido en la muestra de lodo, Para realizar esta prueba se toman generalmente dos lecturas, la primera después de haber agitado el lodo en la vasija y la segunda después de que el mismo ha permanecido en calma durante un período de 10 minutos. Las lecturas hacen -- referencia a la resistencia inicial del gel y a la que ofrece

a los 10 minutos respectivamente. La diferencia puede considerarse como una medida de la Tixotropía del sistema de lodo.

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL GEL POR MEDIO DEL VISCOSIMETRO GIRATORIO BAROID.

Resistencia inicial.-

- 1.- Llénese la vasija hasta la altura de 1/4" del borde con la muestra a tratar. Si la muestra contiene materiales gruesos, hágase pasar a través de un tamiz # 20 antes de verterlo en la vasija. Asegúrese que el rotor se halla en posición de operar.
- 2.- Colóquese la vasija sobre la unidad y hágase ascender todo el conjunto sobre las varillas de soporte tanto como puede subir y después apriétese el tornillo de presión.
- 3.- Suéltese la tuerca del freno y agítase la muestra en la vasija, haciendo girar el tambor que acciona el rotor.
- 4.- Póngase la tuerca del freno y espérese hasta que el lodo de la vasija quede en calma. Suéltese la tuerca tirando del botón directamente hacia abajo sin torcerse.
- 5.- Repítase los números 3 y 4 para determinar el mínimo peso que se necesita sobre la plomada, al hacer girar el eje - aproximadamente 1/8 de revolución.
- 6.- Dése este peso en gramos como la resistencia inicial del gel del lodo.

Resistencia a los 10 minutos.-

- 7.- Repítase el número 3 como se explica arriba.
- 8.- Póngase el freno y espérese durante 10 minutos. Suéltese el freno tirando directamente hacia abajo sin torcerse.
- 9.- Determínese el peso mínimo sobre la plomada añadiendo sucesivamente pequeñas pesas de tal modo que el eje comience y continúe girando. Una vez que se ha roto el gel, no se puede cambiar el peso, si se desea una determinación más exacta, repítase el procedimiento desde el número 3 y espérese durante 10 minutos. Se debe poner el freno siempre que se ajusten los pesos sobre la plomada. Si se necesita más de un minuto para determinar el peso requerido al romper el gel, se debe repetir el proceso comenzando con el número 7.
- 10.- Se da el peso en gramos como resistencia del gel del lodo a los 10 minutos.

Resultados.-

Proporciona la resistencia del gel inicial y a los 10 minutos (en gramos)

En las pruebas tomadas en el campo son de uso muy corriente efectuar dos pruebas, 1) La velocidad de gelatinización y 2) Resistencia de Gel.

Velocidad de gelatinización.-

Se mide por el número de segundos que una determinada

cantidad de lodo contenida en un recipiente Standard necesita para retornar a su estado de reposo, después de habersele dado un movimiento de rotación con la ayuda de una cucharita.

Procedimiento.-

- 1.- El recipiente de lodo debe estar lleno hasta la marca.
- 2.- La muestra debe ser agitada convenientemente justo antes de la prueba.
- 3.- El lodo debe girar lo más rápidamente posible con la ayuda de la cucharita, moviéndola en círculos, cerca del fondo del recipiente.
- 4.- El tiempo debe contarse en segundos comenzando a partir del instante en que la cucharita se retira rápidamente del recipiente y el instante en que el lodo cesa completamente su movimiento de rotación.

Un tiempo de 12 segundos es generalmente el mejor para un lodo de 40 segundos de viscosidad. Un lodo de viscosidad elevada debe tener mayor tiempo de rotación y viceversa.

Resistencia de Gel.

La resistencia de Gel en los lodos de perforación se mide generalmente en el campo después de que la muestra ha sido bien agitada y se le ha dejado en completo reposo, durante 2 segundos. Enseguida se cuelga sobre el borde del recipiente la cucharita probadora y se deja descansar suavemente, sobre el nivel del lodo contenido en el recipiente. El ángulo que

forma al hundirse la cucharita, es leído en una de sus caras correspondiendo al valor en grados de la fuerza de gelatinización después de dos minutos usualmente debe ser cero.

#### Grado de Hidrogenación (PH)

Llamado también índice de acidez de un compuesto se de termina de dos maneras.

1) Por medio de unas cintas de papel indicador que determina el PH desde 1.0 a 14.0 Los cambios en el color o en la in tensidad producidos en el papel indicador deben de ser sufi-- cientes para que el operador pueda leer dentro de 0.5 de uni-- dad de PH.

#### Procedimiento.-

1ro.- Sacar una pulgada de cinta de papel indicador, la cual se considera dentro de los límites requeridos y dolóquese sua vemente sobre la superficie del lodo.

2do.- Déjese transcurrir el tiempo necesario para que la cin-- ta de papel se empape y cambie de color. (De unos pocos segun dos a dos minutos).

3ro.- Compárese el color de la cinta con el gráfico que haya en el costado del disparador y léase el PH del lodo.

4to.- Si el color no se encuantra en la escala y no puede ser comparada repítase la prueba con una cinta indicadora diferen te que se considere más próxima al valor del PH requerido.

Resultado.-

Proporciona el PH en unidades de 0 a 14 con un error - máximo de una décima.

2) Empleando el medidor de PH "BECKMAN".

La operación de funcionamiento de este aparato implican la generación de un potencial eléctrico para la solución a probar en un sistema de electrodos de cristal y Calomelano. Por medio de un tubo de vacío el potencial eléctrico se convierte en unidades legibles PH que se indican directamente en el aparato.

El PH de un lodo puede ser controlado añadiendo compuestos químicos de alto PH como la Soda Cáustica o también com-- puesto de bajo PH como la corteza de mangle o quebracho. Se - ha comprobado que el PH de 9.5 es el que da mejores resulta-- dos por lo que es usual la adición frecuente de soda cáustica.

#### FILTRADO Y ESPESOR DE LA COSTRA

Las propiedades de filtración de los lodos de perfora-- ción, dan una medida de la capacidad de los componentes sólidos y de aquellos que sirven para formar una capa de filtro - delgada y de baja permeabilidad. Cuanto más baja es la permeabilidad, más delgada es la capa de filtro y más bajo el volu- men de filtración de lodos de concentración semejante en meteriales sólidos.

Esta característica depende de la cantidad y estado fí-

sico del material coloidal del lodo.

Se ha demostrado sobre el terreno, que cuando se usa lodo de contenido coloidal suficiente, las dificultades en la operación se hacen mínimas. Por el contrario, un lodo que tenga muchos materiales sólidos inertes y pocos sustancias coloidales, deposita una gruesa capa de filtro sobre las paredes del pozo. La capa de filtro entorpece el paso de las herramientas y permite que una cantidad excesiva de filtración pase a la formación dando lugar por lo tanto a una causa potencial de desmoronamiento.

Las propiedades de filtración del lodo de perforación se determinan por medio del filtro prensa ordinario. Este aparato consiste de un depósito de lodo montado sobre un armazón un dispositivo de filtración, un tubo graduado para medir el filtrado así como elementos para asegurar una fuente de presión. El depósito se compone de un cilindro el cual lleva en su interior una rejilla, papel de filtro y arandelas de goma. El filtro es una lámina de papel especialmente endurecida que se ajusta sobre la rejilla en la tapa de la base. Se usa generalmente una probeta de cristal para recoger lo que se filtra. Se pueden utilizar varias fuentes de presión como botellas de aire o agua a alta presión. La prueba de presión normal requiere 100 libras por pulgada cuadrada de presión durante treinta minutos.

Procedimiento de uso.-

1ro.- Se reúnen las partes, en el siguiente orden, tapa de la base, arandela de goma, lámina de papel de filtro, arandela de goma y cilindro. Asegúrese el cilindro a la tapa de la base.

2do.- Llénes el cilindro con la muestra que se ha de probar hasta 1/4" del borde.

3ro.- Compruebe la tapa superior para asegurarse que la arandela de goma está en su sitio. Colóquese la tapa superior sobre el cilindro y ajústese la unidad en su sitio con el tornillo.

4to.- Póngase una probeta graduada bajo el tubo de filtración.

5to.- Llévese el tornillo de regulación en forma de "T" a la posición máxima hacia afuera (posición cerrada).

Abrase la válvula de la botella de nitrógeno.

Aplíquese 100 libras por pulgada cuadrada de nitrógeno al filtro, atornillando rápidamente el tornillo en forma de "T" dentro del regulador. A partir de este momento se debe cronometrar el tiempo de prueba.

6to.- A los 30 minutos ciérrese la válvula del cilindro de nitrógeno rápidamente y ábrase la válvula de seguridad del sangrador. Esto dará lugar a la liberación de la presión. Vuélvase el tornillo en forma de "T" a su posición máxima hacia afuera.

Resultados.-

La probeta graduada proporciona la pérdida por filtración en centímetros cúbicos.

Se determina el grosor de la capa de filtro después de que el cilindro del filtro ha sido desmontado; el papel de filtro con la capa que se ha depositado sobre él, ha de ser removido de la tapa de la base y el exceso de lodo se lava de la capa. El grosor de la capa de filtro se mide y se da en treintidos avos de pulgada. Se pueden obtener características de la capa de filtro, tales como dureza flexibilidad, con textura, etc.

Para no tener tropiezos en la perforación, el valor del filtrado no debe exceder de 10 centímetros cúbicos en 30 minutos. El espesor de la costra debe ser de  $2/32$  de pulgada o menos.

#### TEMPERATURA

El control de la temperatura se realiza para evitar daños en el equipo cuando el lodo está excepcionalmente caliente. Esto se debe ya sea a las altas temperaturas de las formaciones que se está atravesando o a un mal sistema de enfriamiento en la superficie; el cual se puede mejorar haciendo el recorrido del lodo un poco más largo y tratando de que sea batido para producir turbulencia. Además se le debe mantener -- con una gelatinización, baja lo mismo que viscosidad también baja, para que se desplace fácilmente por las cantinas.

## CONTENIDO DE ARENA

Es deseable la determinación periódica de los contenidos de arena en un lodo de perforación, porque el exceso de aquella puede producir el depósito de una gruesa capa de filtro en la pared del hueco o se puede asentar en el pozo, cuando se detiene la circulación. Un contenido muy alto de arena puede también causar el desgaste excesivo de las bombas o de las conexiones de la tubería.

El contenido de arena se determina por laviagación, decantación o cribado. De estos métodos el terreno es preferible a causa de la presión de la prueba y de la sencillez del equipo. El volumen de arena, incluyendo los espacios vacíos entre los granos, se mide y se expresa generalmente como porcentaje del volumen del lodo.

El aparato más comunmente usado en el campo es el Medidor del contenido de arena "Baroid"; consiste en una criba - de malla 200, un embudo y un tubo medidor de cristal, graduado de 0 a 20 por ciento, para leer directamente el porcentaje de arena en volumen.

### Procedimiento de Uso.-

lro.- Viértase lodo en el tubo del medidor de arena hasta que llegue a la marca que dice "lodo hasta aquí". Después añádase agua hasta la marca que dice "agua hasta aquí". Cúbrase la boca del tubo con el pulgar y agítase vigorosamente.

2do.- Viértase la mezcla a través de la rejilla teniéndose cuidado de lavar todo lo que hay en el tubo, con agua limpia. Lávese la arena retenida sobre la rejilla, con una corriente de agua para remover todo el lodo y partículas detríticas que hayan quedado.

3ro.- Ajustese el embudo hacia abajo con la parte superior de la rejilla, inviértase poco a poco introduciendo el extremo del embudo en la boca del tubo, haciendo volver la arena al tubo por medio de un pulverizador de agua colocado en la parte posterior de la rejilla. Déjese que la arena se asiente.

4to.- Obsérvese la cantidad de arena depositada en el tubo graduado.

Resultados.-

Proporciona el contenido de arena en porcentaje de volumen.

\*\*\*\*\*

CAPITULO V

TIPOS DE LODO

## CAPITULO V

### TIPOS DE LODO

Conforme la técnica de la perforación de pozos de Petróleo ha ido progresando, el uso del lodo también ha evolucionado gracias a los continuos estudios realizados por los técnicos de la industria, quienes debido a las diferentes - clases de formaciones geológicas encontradas obtuvieron una serie de tipos de este fluido que han ayudado a realizar - las perforaciones con más rapidez, economía, seguridad y - productividad.

Para evitar la contaminación del lodo conviene tratarlo durante la perforación. Es pues más conveniente partir - de un lodo especial que transformar un lodo que ya está más o menos contaminado. Se obtienen de este modo diversos ti--pos de lodos que se pueden clasificar de la manera siguien--te; aunque su diferenciación resulte a menudo bastante sutil (esta clasificación no tiene más fin que mostrar la diversi--dad de casos posibles, sin pretender ser completa.)

## LODOS A BASE DE AGUA Y DE ARCILLA.

### A).- Lodos de agua dulce.-

- Lodo ordinario no tratado
- Lodo con fosfatos
- Lodo "rojo" con quebracho y soda-cáustica
- Lodo con calcio

### B).- Lodos de agua salada.-

- Lodos de cloruro de sodio
- Lodos de cloruro cálcico

### C).- Lodos de silicato sódico.-

## LODOS CON BASE DE ACEITE

### A).- Lodos de aceite emulsionado

### B).- Lodos de aceite

En realidad, cualquier lodo con base de agua puede transformarse fácilmente en un lodo emulsionado. Igualmente la adición de almidones o gomas naturales transforma algunos lodos en otros.

A continuación haré una reseña de los tipos de lodo más usados en la industria.

## LODOS A BASE DE AGUA Y ARCILLA

Las arcillas diluidas en agua son la base de todos los lodos de perforación a excepción de los lodos de aceite.

Dada la naturaleza de algunas arcillas, es posible que al formar parte del lodo no tengan las propiedades convenientes. Por ejemplo, las arcillas del grupo de la Caolinita dan en el filtro-presa una costra demasiado gruesa y un gran volumen de agua libre.

Las arcillas ordinarias muy a menudo cálcicas están frecuentemente asociadas, sean las que fueren, con un gran porcentaje de materiales inertes por lo tanto es necesario tratarlas antes de ser empleadas. Este tratamiento por lo general se hace con carbonato sódico o con fosfato sódico.

Las bentonitas sódicas, que presentan una gran aptitud de hidratación son las más idóneas para la confección de lodos de perforación, pero por su precio elevado se reservan para mejorar lo lodos ordinarios, las cantidades empleadas pueden ser las siguientes:

- para mejorar un lodo: 1 a 2%
- para el mantenimiento de un pozo en la zona de horizontes arenosos: 3 a 4%
- en el caso de pequeños desprendimientos: 2.5 a 3.5%

Para mantener la viscosidad del lodo dentro de un valor conveniente es necesario recurrir a unos productos químicos llamados aditivos. Estos son principalmente fosfatos, taninos ácidos húmicos y carbonatos, siendo el más usado en nuestro medio el tanino.

Los fosfatos desde el punto de vista químico se dividen en ortofosfatos y polifosfatos, son muy numerosos y se

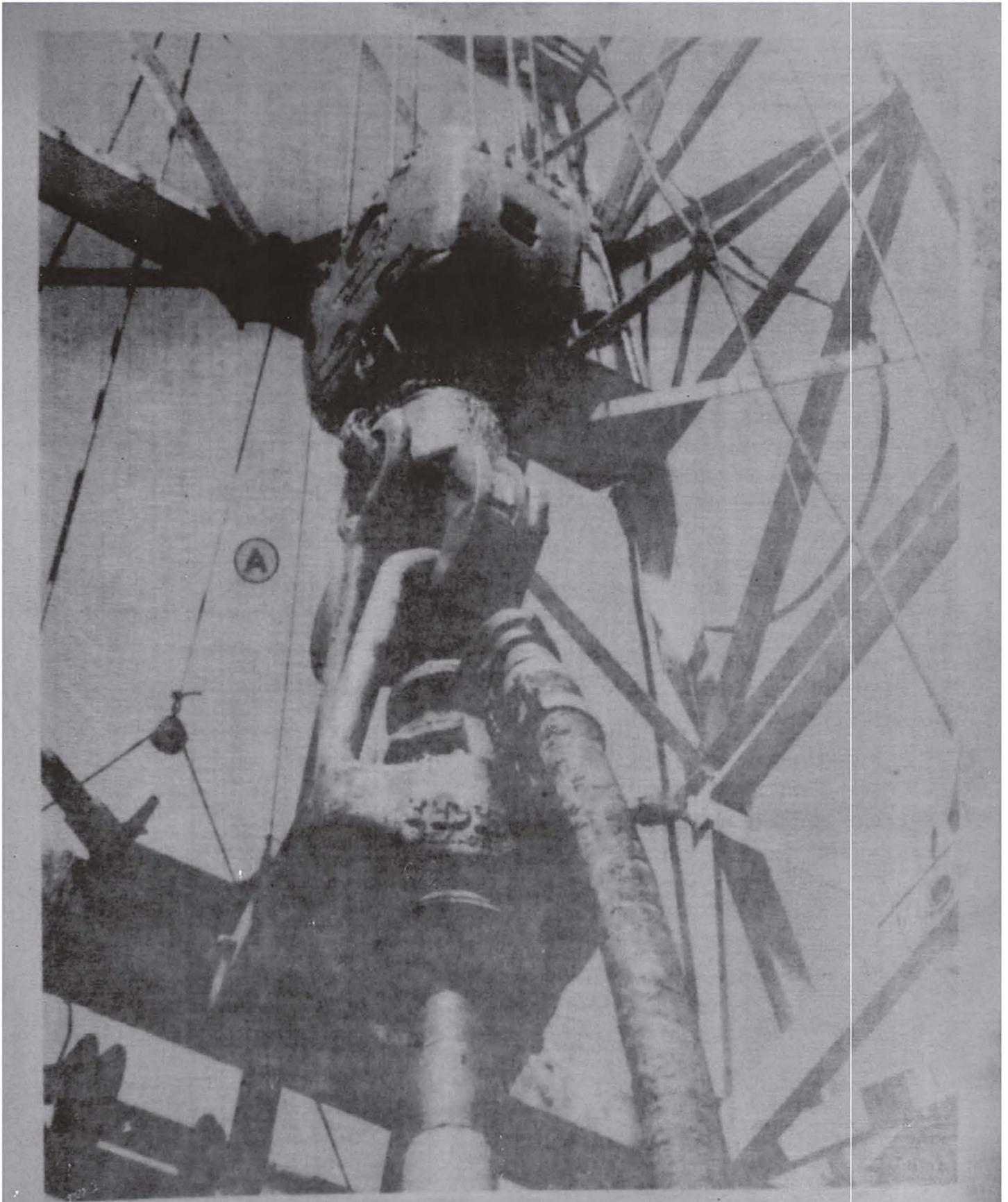


FIGURA 3-10: LA UNION GIRATORIA

destruyen a alta temperatura. No deben usarse con un lodo de almidón, hace falta entonces reemplazarlos por los taninos, ligeramente ácidos que se usan asociados a la soda cáustica y raramente en estado puro.

El PH del lodo no debe ser demasiado elevado.

Los taninos desempeñan igualmente el papel de reductores de viscosidad, contra los agentes contaminantes i están poco concentrados. Se clasifican por orden de eficacia decreciente en: quebracho, mangle, castaño, roble.

Los ácidos húmicos se emplean raramente. En cuanto al carbonato sódico realiza un papel de contención frecuente al PH del lodo y deflocula la arcilla precipitando el calcio.

Finalmente se pueden añadir agentes sellantes destinados a reducir las pérdidas eventuales del lodo. Son empleados para este fin: celofán, películas de celulosa, fibras de madera o de algodón, cáscaras de nuez.

#### LODOS DE EMULSION DE ACEITE

Durante los últimos años la preparación de estos lodos ha sido objeto de importantes estudios y hoy día se les emplea frecuentemente.

Se obtiene un lodo emulcionado añadiendo a un lodo de arcilla que esté bien acondicionado el 5 a 25% de gas-oil además de un emulsificante orgánico soluble destinado a reforzar la acción emulsificadora de la arcilla. Se obtiene de es

te modo una emulsión aceite-agua en la que las gotitas de aceite tienen un diámetro comprendido entre 0.5 y 7 micras.

La proporción de aceite depende del resultado que se busque. La experiencia demuestra que normalmente el valor obtenido corresponde a un 15-20% con respecto al volumen final. Se va añadiendo progresivamente durante una a dos vueltas de la circulación.

La deposición de gotitas de aceite sobre los tubos y la herramienta de perforar reducen el rozamiento sobre las paredes del pzo, con gran aumento en la duración de las brocas dando como resultado una mayor velocidad de avance, los lodos emulsionados se caracterizan sobre todo por:

-Filtrados poco importantes y constituidos únicamente por una fase acuosa, teniendo las gotitas de aceite una acción lubricante, se puede vigilar con esta prueba la calidad de la emulsión.

-Tensión superficial del filtrado muy pequeña

-Penetración muy débil de la costra en los capilares del terreno.

Estas propiedades son muy importantes en el caso de que se pongan en producción capas de débil presión. Los pozos perforados con esta clase de lodo producen más que aquellos muy próximos perforados con un lodo ordinario.

-Estabilidad frente a las grandes temperaturas, mayor que la de los lodos a base de agua. Esta propiedad resulta de una gran conveniencia en el caso de una parada prolongada de

la perforación. Un lodo emulsionado se puede acondicionar - muy rápidamente.

#### LODOS DE ACEITE

La experiencia enseña que para conseguir una mejor explotación de los horizontes productivos, es conveniente sustituir los lodos de agua arcilla por lodos de aceite.

El petróleo bruto o el gas-oil que se usan normalmente para estos lodos no pueden emplearse solos. En efecto, aunque su viscosidad sea suficiente no son tixotrópicos. Además tienen un filtrado extremadamente elevado, del orden de varios centenares de centímetros cúbicos en un ensayo de 30 minutos de duración, lo que resulta inadmisibles. La unión con agua, cuando se cortan horizontes acuíferos, produce dos fases separadas que destruyen la homogeneidad del lodo. Finalmente es imposible el empleo de elevadores de peso, porque sus partículas se decantan con mucha rapidez.

Para suprimir todos estos defectos se añaden al aceite de la base, numerosos productos, siendo el más importante el bitumen oxidado. Este reduce el filtrado en un valor casi nulo, pero aumenta también la viscosidad y hace rígido el lodo.

Añadiendo un emulsificante se logrará que las aguas extrañas formen rápidamente una emulsión de agua en el aceite, se debe tener desde un principio de 2 a 3% de agua emulsionada para aumentar la capacidad de transporte del lodo. Como

agentes densificadores se emplean el sulfato de bario cuando se trata de grandes pesos específicos y el carbonato de calcio cuando estos son pequeños.

Las ventajas de estos lodos son las siguientes:

- No fermentan, dan una costra extremadamente delgada, filtrado practicamente nulo, protegen al equipo contra la erosión.
- Posibilidad de fabricar lodos muy pesados o muy ligeros.

No se contaminan cuando se perforan margas que se hinchan con agua, bentonita, cemento, sal, anhidrita, yeso, etc.

- Lubrican la broca y los tubos aumentando de este modo el tiempo de empleo de la primera y reduciendo la torsión de los segundos.
- Durante el muestreo logran testigos intactos.
- No reducen las posibilidades de producción de los horizontes petrolíferos.
- Pueden ser regenerados para su nueva utilización como contrapérdida.
- Cuesta mucho más caro que un lodo con base de agua.
- Hacen más lenta la perforación.
- Complican la testificación eléctrica imponiendo una combinación o un método en el que no fluye la resistencia eléctrica del aceite (sondas aplicadas contra la pared del sondeo o testificación por inducción).

\*\*\*\*\*

## CAPITULO VI

### CONTAMINANTES DEL LODO Y SU TRATAMIENTO

## CAPITULO VI

### CONTAMINANTES DEL LODO Y SU TRATAMIENTO

---

Durante la ejecución de una perforación, los lodos pueden perder sus propiedades ya sea por la incorporación de cuerpos cuya aparición se debe a la profundización de la perforación, o bien por un cambio de las condiciones físicas en las que se encuentran.

Los cuerpos extraños al lodo pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos y los cambios en las condiciones físicas pueden provenir del aumento de la temperatura con la profundidad (grado geotérmico). Este aumento incrementa en general la viscosidad del lodo. Señalaré como ejemplo la incorporación de gas, la cual disminuye la densidad.

En cuanto a la incorporación de sólidos, éstos provienen de los terrenos triturados por la acción de la herramienta de la perforación. Se presentan bajo forma de granos de distintos grosores de naturaleza inerte o no según la composición química de los cuerpos a que pertenecen.

La presencia de líquidos contaminantes se debe general

mente a aguas cargadas de productos químicos.

Se tiene por consiguiente una contaminación física y una contaminación química de los lodos de perforación y cada una de estas contaminaciones puede deberse a sólidos o líquidos.

#### CONTAMINACION FISICA

##### SOLIDOS.

A medida que transcurre la perforación los lodos se cargan de partículas cuyas dimensiones pueden ser mucho mayores que las del lodo. De este modo se obtiene una suspensión que se puede clasificar como heterogénea.

Estudios realizados demuestran que para los procesos de coagulación de una suspensión heterogénea difieren de los de una suspensión homogénea en razón de los diámetros entre las partículas ya sean grandes o pequeñas. De lo contrario, todo sucede como si no existieran las partículas menos numerosas. Cuando tiene lugar la coagulación, las partículas de diámetro superior en 40 micras no tiene prácticamente influencia sobre las pequeñas. Contrariamente, las partículas de diámetros comprendidos entre 20 y 40 micras tienen una influencia grande sobre las pequeñas.

En otras palabras, las arenas se sedimentan con facilidad y no tienen prácticamente ninguna acción sobre la coagulación de la suspensión. En cambio, su presencia provoca el desgaste de las bombas, tubos, brocas, etc.

Los sedimentos menores se clasifican en la categoría de limos. Si no se compensa su presencia, por una nueva sus pensi ón de arcilla coloidal nueva; el lodo tiene una cantidad de agua libre elevada con el riesgo además de coagula-- ci ón al primer incidente en el trabajo que se realiza, provo ca ndo una parada de la circulación del lodo. Esta coagula-- ci ón se hace de una forma limosa, formándose grumos de mate ri as casi secas a causa de la pérdida de agua libre en la formación. En este caso es posible que la broca quede atas ca da en el fondo del pozo.

#### LIQUIDOS

Cuando se trata de lodos con base de agua, un incremen to de esta no puede más que diluirlos, disminuir su viscosi dad y aumentar su agua libre.

#### CONTAMINACION QUIMICA

La contaminación química por sólidos es la más peligro sa para los lodos de perforación. Una intrusión de agua a presión de sales, <sup>cargada</sup> solamente es temporal, ya que basta aumen tar la densidad del lodo para compensar-la sobre presión de dicha intrusión y su tendencia a filtrarse a través del te-- rr eno. Solamente pueden contenerse por este procedimiento las aguas con presiones muy altas.

La perforación de ciertas formaciones yesíferas, in cor poran al lodo de un modo continuo partículas nosivas, tan

to más activas cuanto más finas sean, hasta que se corte el horizonte no se puede evitar esta contaminación. En el caso de formaciones muy potentes, el costo de este tratamiento puede llegar a ser tan elevado que sea preferible cambiar la naturaleza del lodo y hacerlo insensible a la contaminación por los productos químicos que se encuentren en la perforación.

En el caso de los lodos agua arcilla la contaminación se debe al cambio iónico entre la arcilla y la sal disociada, cuyo efecto consiste en aumentar la viscosidad, la hidratación y la ionización de las suspensiones arcillosas. En realidad la contaminación del lodo se produce sobre todo, cuando se pone en contacto con los iones de calcio y sodio.

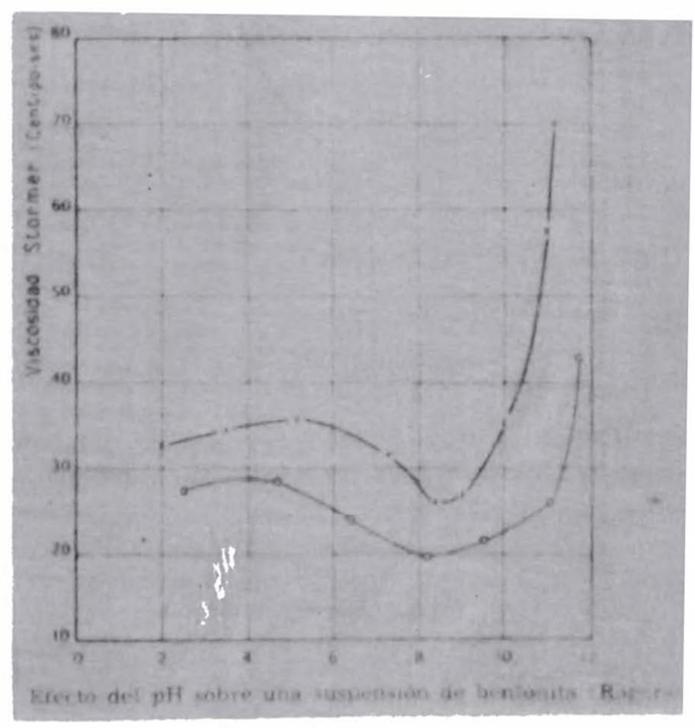
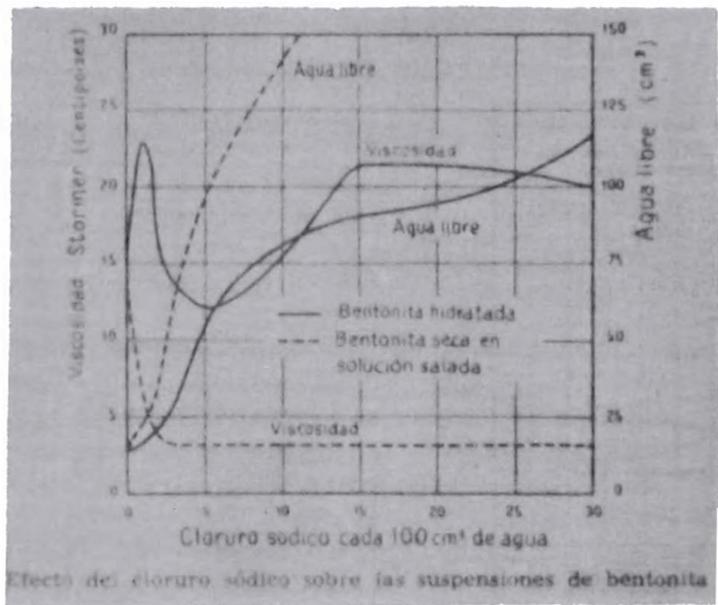
#### TRATAMIENTO DE LOS LODOS

El tratamiento de los lodos permite conservarlos y eventualmente dotarlos de las propiedades adecuadas. Existen dos clases según la contaminación sea física o química.

#### TRATAMIENTO DE LA CONTAMINACION FISICA

En este caso el lodo se carga de arena, limo o arcilla que desgastan el material y aumentan la viscosidad o el agua libre del lodo. Para subsanar este inconveniente se emplea - cribas vibrantes o separadores centrífugos.

Para conservar el contenido en agua libre, la costra y



la viscosidad perturbadas por la peptización de las arcillas perforadas, se recurre del mismo modo, a los productos químicos.

Existen dos grandes grupos de productos:

- Los coloides orgánicos que reducen mucho la cantidad de agua libre y aumentan más o menos la viscosidad.
- Los aditivos del tipo fosfato complejos o taninos que disminuyen la viscosidad sobre todo.

El tratamiento con taninos o fosfatos, se traduce siempre en un valor pequeño de agua libre y en una costra delgada que mantiene correctamente la pared del pozo permitiendo que pase con facilidad la broca perforadora.

En los casos que se perforan horizontes margosos puede disminuir el diámetro con el consiguiente peligro de atascarse la broca o también llegar a espesarse el lodo de tal manera que las bombas no pueden mantener la circulación.

Durante muchos años estos fenómenos han constituido un gran obstáculo para las perforaciones profundas obligando frecuentemente a abandonar los pozos. La reducción de la viscosidad del lodo facilita la circulación, pero no evita la disminución del diámetro del pozo.

#### TRATAMIENTO DE LA CONTAMINACION QUIMICA

En muchos casos es posible contentarse con tratamientos químicos relativamente simples, cuyos principios expondré a continuación. Pero cuando se trata de contaminaciones impor--

tantes resulta menos oneroso emplear un lodo inerte como por ejemplo de aceite, almidón, silicato, suprimiéndose todo tratamiento posterior.

#### CONTAMINACION POR EL CLORURO SODICO

El cloruro sódico empieza a tener efectos perturbadores a partir de concentraciones mayores del 1%. Lo más sencillo es diluir el lodo para lograr un contenido menor y despues -- tratarlo con fosfatos o taninos que le devuelven sus propiedades. Sin embargo en algunos casos es necesario emplear un lodo de almidón o goma.

De 0.6 a 1% se puede emplear un lodo de carboximetilcelulosa. Por ejemplo un lodo de bentonita al que se le han añadido 10 Kg/m<sup>3</sup> de CMC y de tanino sódico puede mantener su PH y permitir una perforación normal.

#### CONTAMINACION POR SALES DE CALCIO SOLUBLES

La penetración de calizas, pizarras calcáreas anhidrita yeso o cualesquiera otras formaciones que contiene sales de calcio solubles, puede causar la floculación de la arcilla coloidial en un fluido de perforación rotaria. Los minerales que contienen calcio, principalmente el carbonato de calcio y sulfato de calcio, encontrados en estos sedimentos no son fácilmente solubles en agua, pero son suficientemente solubles como para alterar las propiedades de un fluido de perforación.

Los efectos producidos por una sal de calcio soluble sobre las propiedades de un lodo, dependen considerablemente de la historia pasada del lodo. Particularmente, si la sal de calcio soluble es añadida al lodo antes que la arcilla coloidal (bentonita sódica) o, si es calcio mezclado con la bentonita sódica y la mezcla, es posteriormente disuelta en agua. El efecto sobre la suspensión final es algo diferente del efecto producido por la disolución de la misma cantidad de sal de calcio en la fase agua y de una igual concentración de bentonita sódica en agua, después de la completa hidratación de la bentonita.

Se puede esperar entonces que en la perforación de formaciones que contienen calcio próximo a la superficie (antes que cantidades apreciables de bentonita comercial hayan sido añadidas al sistema de lodo) la solución de sales de calcio resultaría en una relativamente baja viscosidad, cuando se le añada baritina comercial posteriormente.

Por otro lado, si una formación que contiene grandes cantidades de sales solubles de calcio es repentinamente encontrada, y se está usando un lodo que contiene una apreciable concentración de bentonita sódica (completamente hidratada), la arcilla es floculada antes que el calcio reemplace al sodio en las partículas de arcilla.

#### TRATAMIENTO

El tratamiento químico sería de tal naturaleza como pa

ra precipitar/<sup>el</sup>calcio . Puede usarse para este propósito o - bien carbonato de sodio o fosfato disódico. La elección de estas dos sustancia químicas depende del PH del lodo antes del tratamiento. El carbonato de sodio en la concentración comunmente usada para el tratamiento del lodo, tiene un PH de alrededor de 11.0, mientras que el fosfato disódico es solo medianamente alcalino, teniendo un PH de alrededor de 8.6. Así el carbonato de sodio es usado si el PH del lodo antes del - tratamiento es demasiado bajo, mientras que el fosfato disódico se usa cuando no es deseado un aumento del PH.

El ácido tánico, un fosfato complejo, o reductores de viscosidad similares, podrían ser usados junto con el fosfato disódico o el carbonato de sodio, a fin de mantener apropiada viscosidad y propiedad de formar revoque.

La densidad de tal propiedad puede ser probada haciendo frecuentes chequeos con un viscosímetro y un proveedor de revoque. La adición de bentonita fresca puede ser necesaria en -- ciertas instancias con el fin de restaurar aproximadamente la propiedad de formar revoque.

#### CONTAMINACION CON CEMENTO

Cuando el lodo de perforación bentonítico, ordinario es contaminado con cemento, la viscosidad y las propiedades de - gel del lodo se incrementan marcadamente y las propiedades de formación de revoque se pueden volver muy pobres, como está

indicado por una mayor pérdida de agua y un revoque grueso. Tal contaminación ocurre cuando se perfora después de sentar los forros de superficie o en una cementación forzada.

La crecida viscosidad y las pobres propiedades de revoque del lodo, contaminado con cemento, pueden ser atribuidas a la floculación de los coloides de arcillas, por el hidróxido de calcio de la lechada de cemento. El hidróxido de calcio es alcalino y causará una decidida elevación del PH del lodo.

#### TRATAMIENTO

- a).- Remover los iones de calcio con precipitado insoluble.
- b).- Reducir el PH antes de la contaminación.
- c).- Dispersar los agregados de arcilla tanto como sea posible.
- d).- Reemplazar con arcilla fresca cualquier material coloidal que no puede ser llevado rápidamente a su condición original.

\*\*\*\*\*

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

- "Composition and Properties of Oil well Drilling Fluids"  
by W.F. Rogers.
- "Petroleum Engineering Drilling and Well Completions"  
by Carl. Gatlin.
- Perforaciones y Sondeos. Por H. Cambefort.
- "Mud Engineering" by Magnet Cove Barium Co.
- "Inyección" por Rodolfo J. Tailleux y Venancio Calvo.
- "Oil Well Drilling Technology" by Mc Cray & Cole.
- "Drilling Mud data Book" by Baroid Division.
- "Emulciones como fluidos de Perforación" por D.L. Wilson &  
T. Raudolph.
- Apuntes de mis prácticas en los campos petrolíferos.
- "Control of Drilling Mud by Uren.